

---

# **RASVATTOMAN PIIMÄN RAKENTEEN MUUTTUMINEN VARASTOINNIN AIKANA**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Visamäki

28.9.2012

Verna Seppä



**VISAMÄKI**

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma  
Meijeriteknologia

**Tekijä**

Verna Seppä

**Vuosi 2012**

**Työn nimi**

Rasvattoman piimän rakenteen muuttuminen varastoinnin aikana

**TIIVISTELMÄ**

Tässä työssä tehtiin perustutkimusta rasvattoman piimän rakenteen muutoksista varastoinnin aikana. Työssä etsittiin vastauksia kysymyksiin mitä rasvattomassa piimässä tapahtuu varastoinnin aikana ja koska muutokset tapahtuvat. Rasvattomassa piimässä on ongelmana sen heroittuminen säilytyksen aikana. Tämä työ voi toimia pohjana jatkotutkimuksille, joissa tutkitaan miten heroittumista saadaan vähennettyä ja näin piimän laatua parannettua. Työn tilaaja oli Valion Tutkimus & Kehitysosasto ja työhön sisältyvät mittaukset tehtiin Valio Tampereen meijerissä.

Mittaukset tehtiin kahdesta piimäerästä syyskuussa 2011. Näytepiimistä mitattiin viskositeettia, heran määrää, pH:ta ja lämpötilaa pakkauspäivänä kerran tunnissa kymmenen tunnin ajan ja sen jälkeen kerran päivässä parasta ennenpäivään asti. Mittaussarjoja oli kaksi, koska haluttiin selvittää, miten säilytystapa vaikuttaa tuloksiin. Lisäksi tutkittiin piimän jäähtymistä varastossa. Kirjallisuudessa selvitettiin piimän rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä, joista tärkeimmät ovat raaka-aine eli maito, piimän hapate ja valmistusprosessi. Lisäksi perehdyttiin viskositeetin merkitykseen ja mittaukseen elintarvikkeissa.

Mittauksissa selvisi, että suurin muutos piimän rakenteessa tapahtuu 6. ja 7. vuorokauden välillä, jolloin pintaviskositeetti laskee koska heran määrä kasvaa voimakkaasti. Happamuudella, lämpötilalla ja säilytystavalla ei ollut vaikutusta viskositeettiin. Jatkossa kannattaa tutkia syvemmin, miksi piimän rakenne romahtaa juuri 6. ja 7. vuorokauden kohdalla, ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat. Voidaan tutkia mikä vaikutus kaasunpoistolla ja pakkaustapahetumalla on piimän rakenteeseen.

**Avainsanat** Piimä, viskositeetti, varastointi, reologia

**Sivut**

31 s. + liitteet 13 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering  
Dairy Technology

---

**Author**

Verna Seppä

**Year** 2012

**Subject of Bachelor's thesis**

Change in the Texture of Sour Milk during Storage

---

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study the changes in the texture of skimmed sour milk during storage. The questions this study was to answer were: What happens in sour milk texture during storage and when do these changes appear. Whey formation in skimmed sour milk is a problem which can be addressed with further studies based on this thesis. This thesis was commissioned by Valio Research & Development department and the measurements were carried out at Valio Tampere Dairy Plant.

Viscosity, the amount of whey, pH and temperature were measured in two batches of skimmed sour milk in September 2011. Measurements were made once an hour for ten hours on the day of packaging and once a day until the best before date. Two sets of samples were measured to find out how the storage conditions influence the results of the measurements. In the literature survey, the factors influencing sour milk texture and the significance of viscosity in foods were explored.

The results of the measurements show that the biggest changes in the texture of skimmed sour milk occurred between the 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> day after packaging. At that time the surface viscosity dropped because of the formation of whey. The pH, temperature and the storage conditions had no effect on the viscosity. In further studies it would be profitable to get deeper into why the changes happen when they do and what affects the changes. The effects of gas removal and packaging on the texture of sour milk should be examined.

**Keywords** Sour milk, viscosity, texture, rheology

**Pages** 31 p. + appendices 13 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	PIIMÄN RAKENTEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	2
2.1	Raakamaito .....	2
2.1.1	Rasva .....	2
2.1.2	Proteiini .....	3
2.1.3	Laktoosi .....	5
2.1.4	Raakamaidon muut aineet .....	6
2.2	Hapate .....	7
2.2.1	Hapateen tehtävät .....	8
2.2.2	Piimän hapate .....	8
2.2.3	Hapateen valmistus .....	9
2.2.4	Bakteerin aineenvaihdunta .....	10
2.2.5	Bakteriofagit .....	11
2.3	Valmistusprosessin vaikutus piimän rakenteeseen .....	12
2.3.1	Yhteiskäsittely .....	12
2.3.2	Hapateen lisäys ja kypsytytys .....	13
2.3.3	Ilmanpoisto .....	14
2.3.4	Jäähdytys .....	14
2.3.5	Pakkaus .....	14
2.3.6	Varastointi .....	14
3	VISKOSITEETTI ELINTARVIKKEISSA .....	16
3.1	Reologia .....	16
3.2	Viskositeetti .....	16
3.2.1	Newtonin viskositeetilaki .....	17
3.3	Mittausmenetelmät .....	18
3.3.1	Kapillaariviskosimetri .....	19
3.3.2	Pudotusviskosimetri .....	19
3.3.3	Rotaatioviskosimetri .....	19
3.3.4	Oskillaatiomittaus .....	20
4	VARASTOINNIN VAIKUTUS RASVATTOMAN PIIMÄN RAKENTEESEEN .....	22
4.1	Työn suoritus .....	22
4.2	Tulokset .....	23
4.2.1	Viskositeetti .....	24
4.2.2	Lämpötila, pH ja heran määrä .....	26
4.2.3	Lämpötilan seuranta varastossa .....	27
5	PÄÄTELMÄT .....	28
5.1	Jatkotoimenpiteet .....	28

Liite 1	Piimän valmistuksen vuokaavio
Liite 2	Homofermentaatio ja heterofermentaatio
Liite 3	Sitruunahappokierto
Liite 4	Taulukoidut tulokset viskositeetin, lämpötilan, heran määrän ja pH:n mittauksista 7. ja 9.9.
Liite 5	Taulukoidut tulokset lämpötilan mittauksista tuotevarastossa 28.9.2011
Liite 6	Kuvaajia viskositeetin mittauksista
Liite 7	Kuvaajia pH:n ja lämpötilan mittauksista

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoitus on selvittää, miten rasvattoman piimän rakenne muuttuu varastoinnin aikana. Näytteistä mitataan viskositeetti, pH, lämpötila ja pinta-heran määrä. Tutkimus tehtiin Valio Oy:n Tampereen meijerissä 7.-28.9.2011 välisenä aikana. Rasvaton piimä on herkkä heroittumiselle, ja siihen halutaan parannus. Jotta valmistusparametreja voidaan muuttaa paremman tuotteen valmistamiseksi, on ensin selvitettävä, mitä piimässä tapahtuu sen varastoinnin aikana, ja koska mahdolliset muutokset tapahtuvat. Koska tästä aiheesta ei vielä ole tietoa, haluttiin tehdä perustutkimus, jolle jatkoselvitykset voidaan perustaa. Lisäksi tässä työssä selvitetään alan kirjallisuuden avulla selvitetty, mitkä seikat ja miten ne vaikuttavat piimän rakenteeseen.

## 2 PIIMÄN RAKENTEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Piimä on hapatettu maitotuote, joka on valmistettu tiettyjen bakteerien avulla, jotka muuttavat maidon laktoosia maitohapoksi. Alentuneen pH:n seurauksena piimämaito saostuu ja sen rakenne muuttuu paksummaksi ja geelimäiseksi. Maitohappobakteerit tuottavat myös tyypillisiä aromitekijöitä piimään, kuten diasetyyliä. (Dairy Processing Handbook 2003, 255–256)

Piimän tyyllisiä hapanmaitotuotteita on valmistettu jo tuhansia vuosia. Aluksi maidon hapantuminen oli sattumanvaraista, mutta kun sen huomattiin parantavan maidon säilyvyyttä, hapantumisen olosuhteita alettiin valvoa. Tällöin ei vielä tiedetty, että bakteerit aiheuttavat hapantumisen. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 1)

Piimää ja sen tyyppisiä tuotteita valmistetaan lähinnä Skandinaviassa. Tuotenimiä ovat esimerkiksi Surmelk, Tätmjölk, Filmjölk, Långfil ja Filbunke. Osa näistä on juotavia ja osa enemmän viilin kaltaisia, lusikoitavia tuotteita. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 156–162)

Piimän rakenteeseen vaikuttavat piimään käytettävän maidon koostumus, valittu hapate ja piimänvalmistusprosessin osavaiheet. Piimänvalmistuksen vuokaavio on esitetty liitteessä 1.

### 2.1 Raakamaito

Piimään käytettävä raakamaito tulee olla tuoretta, terveistä lehmistä lypettyä ja mikrobiologisesti hyvälaatuista. Maito ei saa sisältää hapatemikrobin kasvua haittaavia aineita, kuten antibiootteja, pesuainejäämiä ja mikrobeja. (Väliaho 1982, 2-3)

Piimän rakenteeseen vaikuttaa raakamaidon koostumus. Raakamaidossa on vettä, rasvaa, proteiineja, laktoosia, vitamiineja, kivennäisaineita sekä entsyymejä ja kaasuja. Maidon komponentit ovat jakaantuneet vesiosaan, jossa ovat proteiinit, laktoosi, vesiliukoiset vitamiinit ja kivennäisaineita. Rasvaosassa on maitorasvaa, rasvaliukoisia vitamiineja, fosfolipidejä ja steroleja. Maidossa on vettä noin 87 prosenttia ja rasvatonta kuiva-ainetta noin 9 prosenttia. (Dairy Processing Handbook 2003, 17–20)

#### 2.1.1 Rasva

Rasvan osuus voi vaihdella 2,5 ja 6 prosentin välillä. Rasvan määrän vaihteluun vaikuttaa muun muassa vuodenaika, ruokinta ja lehmän rotu. (Dairy Processing Handbook 2003, 18) Markkinoilla olevien piimätuotteiden rasvapitoisuudet vaihtelevat rasvattoman piimän 0,05 prosentista AB-piimän 2,5 prosenttiin.

Rasva on maidossa jakaantuneena palloiksi, joita ympäröi fosfolipideistä, lipoproteiineista ja serebrosideistä koostuva membraani eli kalvo. Kalvon tehtävänä on pitää rasvapallot erillään ja suojata maitorasvaa triglyseridejä hajotavilta entsyymeiltä, lipaaseilta. (Dairy Processing Handbook 2003, 22-23)

Triglyseridit ovat molekyyliä, joissa yhteen glyserolimolekyyliin on kiinnittynään kolme rasvahappoketjua. Maitorasvan rasvahapot ovat pääasiassa myristiini-, palmitiini-, steariini- ja öljyhappoa. Eri rasvahapoilla on erilaiset sulamispisteet, joten niiden suhde maitorasvassa määrittelee sen sulamispisteen. Rasvapallosissa rasva on reunoilla kiinteämpää ja keskustaa kohti mennessä nestemäistä, koska triglyseridit kerrostuvat sulamispisteen mukaan. (Dairy Processing Handbook 2003, 22-23)

Maitorasvassa on triglyseridien lisäksi myös di- ja monoglyseridejä, vapaita rasvahappoja, steroleja ja karotenoideja sekä rasvaliukoisia vitamiineja A, D, E ja K. Rasvattomissa piimissä ei näitä vitamiineja ole, mutta nykyään piimämaitoon, kuten muihinkin nestemäisiin maitotuotteisiin, lisätään D-vitamiinia. (Dairy Processing Handbook 2003, 22-23) Piimässä rasva vaikuttaa makuun, kun lämpökäsittelyssä fosfolipidistä vapautuu aromiyhdisteitä, kuten laktoneja, ketoneja ja aldehydeja. Rasva lisää piimän täyteläisyyttä. Rasva lisää maidon, ja näin myös piimän viskositeettia. Suurempi rasvapitoisuus lisää piimän rakenteen pysyvyyttä ja vähentää heran erottumista. (Väliaho 1982, 22)

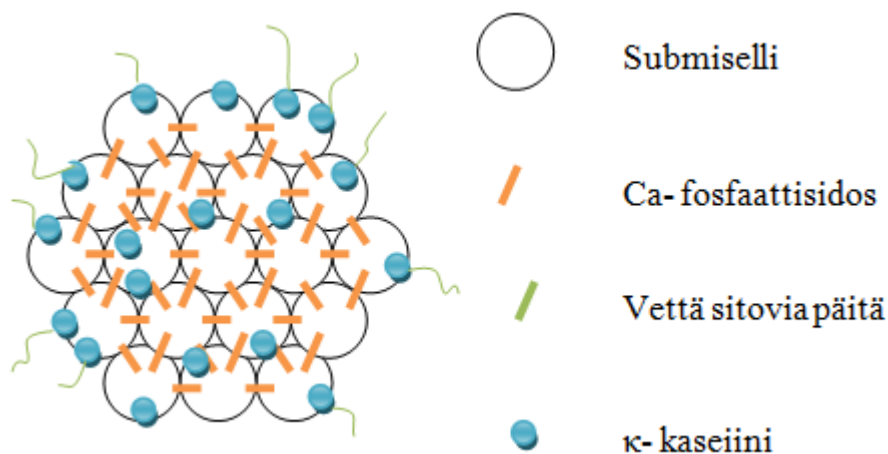
## 2.1.2 Proteiini

Proteiinit ovat monimuotoisia rakenteita, joita tarvitaan kehossa muun muassa solujen rakennusaineina ja entsyymeinä. Proteiinit koostuvat aminohapoista, jotka muodostavat ketjuja. Kun aminohappoketjut kiertyvät ja yhdistyvät tietyllä tavalla, syntyy proteiini. Jokaisella proteiinilla on oma spesifinen aminohappojärjestys, peptidiketjujen sijoittuminen toisiinsa nähden ja kolmiulotteinen rakenne. Erilaisia aminohappoja on noin 20. (Aro 2008)

Maidossa on proteiinia keskimäärin 3,6 prosenttia, josta noin 80 prosenttia on kaseiinia ja 20 prosenttia heraproteiinia. Kaseiini koostuu  $\alpha$ -,  $\beta$ -, ja  $\kappa$ -kaseiineista. Heraproteiineja ovat laktalbumiinit ja laktoglobuliinit. Yhdessä kalsiumin kanssa kaseiini antaa maidolle sen valkoisen värin. (Kauppinen 1989, 27-32)

Kaseiini esiintyy maidossa kaseiinimolekyylien yhteenliittymänä, kaseiinimisselleinä, jotka ovat liuenneina vesifaasiin. Kuvassa 1 on esitetty kaseiinimisselin rakenne. (Dairy Processing Handbook 2003, 23)





Kuva 1. Kaseiinimiselli (Dairy Processing Handbook 2003, 24)

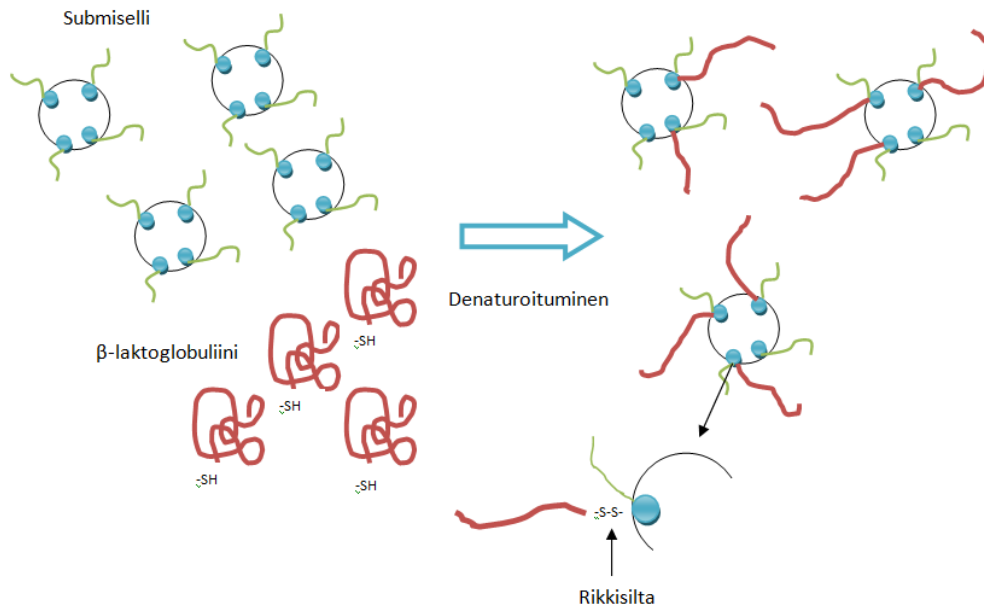
Misellit koostuvat  $\alpha$ -,  $\beta$ -, ja  $\kappa$ -kaseiineista. Vesiliukoinen  $\kappa$ -kaseiini on submisellin pinnalla ja veteen liukenemattomat  $\alpha$ - ja  $\beta$ -kaseiinit sen sisällä. Kaseiinimisellin uloimmissa submiselleissä  $\kappa$ -kaseiinia on enemmän kuin keskimmaisissa.  $\kappa$ -kaseiini ja sen kalsiumsuola ovat hyvin vesiliukoisia ja  $\kappa$ -kaseiinin vesiliukoiset päät työntyvät submisellistä antaen kaseiinimisellille ”karvaisen” ulkopinnan, mistä johtuen kaseiinimisellit ovat liuenneina vedessä. Kaseiinimisellissä on noin 400-500 submiselliä. (Dairy Processing Handbook 2003, 27-29)

Piimän rakenne syntyy siitä, kun maitohappobakteerien tuottama maitohappo laskee maidon happamuutta ja saostaa kaseiinia. Maidon normaalissa pH:ssa, 6,6:ssa, kaseiinimiselli on ulospäin negatiivisesti varautunut, mutta happamuuden lisääntyessä eli  $H^+$ -ionien lisääntyessä negatiivinen varaus pienenee. pH 4,6 on kaseiinin isoelektrinen piste, eli siinä happamuudessa se saostuu. Kaseiinimiselli on tällöin ulospäin varaukseton, kun  $H^+$ -ionit ovat kumonnet negatiivisen varauksen. Kaseiinimisellin sisäiset yksittäiset positiiviset varaukset alkavat tällöin vetää puoleensa toisten misellien negatiivisia varauksia, jolloin syntyy suuria molekyyliyrhmiä ja kaseiini saostuu. (Dairy Processing Handbook 2003, 25-26)

Lämpökäsittely vaikuttaa proteiineihin. Lämmön vaikutuksesta heraproteiinit denaturoituvat, eli menettävät aktiivisuutensa, kun sen kolmiulotteinen rakenne purkautuu ja peptidiketjut aukeavat. Sopiva lämpötila-aika – yhdistelmä takaa tuotteelle helposti sekoittuvan ja sopivan viskoosisen rakenteen. Lämpökäsittelyn aikana yli 80 prosenttia heraproteiineista tulisi denaturoitua. Liian matala lämpötila vähentää saostuman kiinteyttä ja hidastaa hapantumista, liian korkea lämpötila vähentää viskositeettia ja hidastaa hapattamisen jälkeistä rakenteen paksunemista. (Driessen & Puhon 1988, 79)

Kaseiini ei denaturoidu lämmön vaikutuksesta, jos olosuhteet ovat sille muuten optimaaliset (pH, suolat, proteiinien suhde). Heraproteiinin lämpödenaturoituminen alkaa 65 asteessa ja on lähes täydellistä lämpökäsittelyn kestäessä viisi minuuttia 90 asteessa. Lämpö vaikuttaa  $\beta$ -laktoglobuliiniin, jota on he-

raproteiinista noin puolet niin, että se sitoutuu  $\kappa$ -kaseiiniin rikkisilloilla. Tämä vaikuttaa proteiinien vedensidontakykyyn parantavasti ja vähentää syneereä eli heran erottumista tuotteessa. Kuvassa 2 on esitetty  $\beta$ -laktoglobuliinin sitoutuminen kaseiiniin. (Driessen & Puhon 1988, 78)



Kuva 2. Denaturoituminen johtaa  $\beta$ -laktoglobuliinin sitoutumiseen kaseiiniin. (Dairy Processing Handbook 2003, 33)

### 2.1.3 Laktoosi

Maidon hiilihydraatti, laktoosi on disakkaridi, eli se koostuu kahdesta monosakkaridista, glukoosista ja galaktoosista. Laktoosia ei esiinny missään muualla kuin maidossa. Normaali laktoosipitoisuus raakamaidossa on 3,6-5,5. (Dairy Processing Handbook 2003, 34) Ruuansulatuksessa laktoosi hajoaa laktaasi-entsyymien vaikutuksesta glukoosiksi ja galaktoosiksi, mutta osalta ihmisistä tämä entsyymi puuttuu tai sen tuotanto tai aktiivisuus on heikentynyt. Tällöin laktoosi ei hajoa ja ihminen saattaa kärsiä vatsavaivoista, koska laktoosi kulkeutuu ruuansulatuskanavan läpi paksusuoleen, jossa bakteerit alkavat hajottaa sitä. Hajotuksessa syntyy kaasuja, jotka aiheuttavat laktoosin imeytymishäiriön, laktoosi-intoleranssin oireet (Mustajoki 2010).

Hapatetuissa maitotuotteissa hapatebakteerit käyttävät laktoosia ravinnokseen. Ne tuottavat laktaasientsyymiä, joka pilkkoo laktoosin glukoosiksi ja galaktoosiksi monimutkaisten reaktioiden kautta. Maitohappobakteerit muuttavat glukoosin ja galaktoosin maitohapoksi, joka saostaa kaseiinia. (Dairy Processing Handbook 2003, 34)

#### 2.1.4 Raakamaidon muut aineet

Proteiinin, rasvan ja laktoosin lisäksi maito sisältää entsyymejä, vitamiineja, kivennäisaineita, somaattisia soluja sekä kaasuja. Entsyymit ovat proteiineja, jotka katalysoivat kemiallisia reaktioita elimistössä. Entsyymeillä on optimaalämpötilat ja – pH:t, jossa ne toimivat parhaiten. Kun lämpötila kohoaa tarpeeksi, entsyymi inaktivoituu. Tämä tapahtuu entsyymistä riippuen 50- 120 asteessa. Osa entsyymeistä erittyy maitoon utareessa, osa on bakteeriperäisiä. Maidossa esiintyviä entsyymejä ovat laktoperoksidaasi, fosfataasi, lipaasi ja katalaasi. (Dairy Processing Handbook 2003, 33-36)

Katalaasi hajottaa haitallista vetyperoksidia vedeksi ja hapeksi. Katalaasin määrää seuraamalla voidaan seurata lypsävän lehmän terveyttä, sillä terveestä utareesta katalaasia syntyy hyvin vähän, kun taas tulehtunut utare tuottaa sitä enemmän. Katalaasi inaktivoituu 75 °C/60 sek. lämpökäsittelyssä. Laktoperoksidaasi-entsyymi siirtää happea vetyperoksidista helposti hapettuvaan paraformaleeniamidiin. Laktoperoksidaasi tuhoutuu 80 °C/5 sek. lämpökäsittelyssä (Dairy Processing Handbook 2003, 33)

Fosfataasi hajottaa fosforihappestereitä fosforihapoksi ja alkoholiksi. Se inaktivoituu pastöroinnissa, eli 72 °C/16 sek. lämpökäsittelyssä. Fosfataasin inaktivoitumista mittaavalla Scharerin testillä testataan yleisesti pastöroinnin onnistumista meijereissä. Lipaasi hajottaa rasvaa glyseroliksi ja rasvahapoiksi. Vapaat rasvahapot aiheuttavat maidossa härskiintymistä joka pilaa lopputuotteen. Lipaasi inaktivoituu suurimmaksi osaksi pastöroinnissa, mutta sen inaktivointi kokonaan vaatii korkeapastörintia. Useat mikrobit tuottavat lipaasia, joten riittävä lämpökäsittely mikrobien tuhoamiseksi on olennaista lipaasin toimimisen estämiseksi. Maitohappobakteerit eivät tuota lipaasia. Dairy Processing Handbook 2003, 33-34)

Maidon vitamiineja ovat A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub>, C ja D. A- ja D- vitamiinit ovat rasvaliukoisia, joten niitä ei luonnostaan ole rasvattomissa maitotuotteissa (Dairy Processing Handbook 2003, 35). Suomessa D- vitamiinia lisätään nestemäisiin maitotuotteisiin 0,5 mikrogrammaa kohti 100 ml tuotetta, koska muuten vitamiinin saatavuus ravinnosta on heikkoa (Paakkari 2010). D- vitamiini auttaa maidon kalsiumia imeytymään ja on näin tärkeä tekijä luuston kunnon ylläpidossa (Osteoporoosiliitto n.d.).

Maidossa on kivennäisaineita noin 7 g/ 100 ml tuotetta. Tärkeimmät kivennäisaineet ovat kalsium, magnesium, fosfori, natrium, kalium, kloori ja rikki. Eniten on kalsiumia ja kaliumia. Kivennäisaineet ovat maidossa suoloina, joista tärkeimpiä ovat kalsiumin, natriumin, kaliumin ja magnesiumin suolat. Suolojen määrä maidossa ei ole vakio, vaan vaihtelee muun muassa lypsykauden eri vaiheiden ja utaretulehdusten takia. (Dairy Processing Handbook 2003, 35)

Somaattisia soluja on terveen lehmän maidossa vähän, mutta tulehtuneen utareen tuottamassa maidossa niitä saattaa olla paljonkin, mikä saattaa johtaa

häiriöihin hapatuksen aikana. Siksi on tärkeää, että piimään käytettävä maito on lypsetty terveistä eläimistä. (Väliaho 1982, 7)

Maidossa olevat kaasut ovat pääasiassa hiilidioksidia, typpeä ja happea. Tuoreessa maidossa kaasujen tilavuus on noin 5 % maidon tilavuudesta, mutta meijeriin tultaessa kaasujen tilavuus voi olla jopa kymmenen prosenttia. Kaasut voivat olla maidossa liuenneina, sekoittuneina tai kemiallisesti sitoutuneina, maidosta erottamattomana. (Dairy Processing Handbook 2003, 36)

Liika sekoittunut ja liennut kaasu saattavat aiheuttaa maidon kiinnipalamista kuumiin pintoihin, esimerkiksi lämmönvaihtimeen. Siksi kaasujen sekoittumista maitoon yritetään välttää vähentämällä pumppauksia ja sekoitusta tankissa, tai muita prosessivaiheita, joissa ilmaa voi sekoittua maitoon. (Dairy Processing Handbook 2003, 36)

Kaasujen suhde maidossa riippuu maidon kanssa kosketuksiin joutuvan ilman kaasujen suhteesta, maidon käsittelystä ja säilytyksestä sekä lämpötilasta; kun lämpötila nousee, kaasujen liukoisuus on pienempi ja sekoittuneet kaasut erottuvat maidosta kaasukuplina nopeammin. Tuoreessa, vastalypsetyissä maidossa on paljon hiilidioksidia mutta vähemmän happea ja typpeä, kun taas lämpökäsitellyssä maidossa on päinvastoin. (Riikola 2003, 4)

## 2.2 Hapate

Hapate tarkoittaa hapanmaitotuotteisiin tarkoituksella lisättyä mikrobiviljelmää, joka tuottaa hapanmaitotuotteeseen sen tyypilliset ominaisuudet, kuten maun ja rakenteen. Hapatteessa on maitohappobakteereja ja lisäksi siinä voi olla propionihappobakteereja, etikkahappobakteereja, homeita ja hiivoja sekä probiootteja. (Luova 2010)

Eri bakteerisuvut ja -kannat tuottavat hapanmaitotuotteisiin erilaisia ominaisuuksia, joten bakteerit pitää valita tuotteen ja sen haluttujen ominaisuuksien mukaan. Myös bakteerien optimaaliset kasvuolosuhteet, kuten lämpötila ja happamuus sekä niiden tarvitsemat ravinteet tulee ottaa huomioon. (Dairy Processing Handbook 2003, 54-71)

Hapanmaitotuotteiden lisäksi mikrobeja hyödynnetään myös muilla elintarviketeollisuuden aloilla. Maitohappokäymisellä säilötään kasviksia (esimerkiksi hapankaali) sekä lihatuotteita (salamimakkara). Hiivoja käytetään yleisesti panimoteollisuudessa, jossa ne käyttävät esimerkiksi oluen viljan ja viinin rypäleiden sokereita alkoholiksi. Leipomoteollisuudessa käytetään paljon leivinhiivaa, *Saccharomyces cerevisiae*:ta, joka kohottaa leivonnaiset ja tekee niihin kuohkean rakenteen. Myös teen, kahvin ja kaakaon valmistuksessa käytetään fermentointia. (Battcock & Azam-Ali 1998; Suomen hiiva Oy n.d.; Cultures- Meat n.d.)

Koska piimään käytettävissä hapatteissa ei käytetä hiivoja ja homeita, niitä ei tässä luvussa käsitellä.

### 2.2.1 Hapanteen tehtävät

Ilman lisättävää mikrobiviljelmää, hapatetta, maito pilaantuu melko nopeasti. Hapanteen tärkeimpiin tehtäviin kuuluukin toimia biologisena säilöntäaineena eli parantaa tuotteen säilyvyyttä. Maitohappobakteerit lisäävät tuotteen happamuutta, eivätkä useimmat maitoa pilaavat mikrobit viihdy happamissa oloissa. Lisäksi maitohappobakteerit käyttävät ravinnokseen maidon laktoosia, mikä vähentää muiden mikrobien menestymismahdollisuuksia, koska niiden pitää kilpailla ravinnosta. Maitohappobakteerit myös tuottavat bakteeriosiineja, aineita, jotka tuhoavat muita bakteereja antibioottien tapaan. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 11)

Toinen tärkeä tehtävä hapanteella on muokata maidon aistinvaraisia ominaisuuksia niin, että hapanmaitotuotteen maku ja rakenne ovat tuotteelle tyypilliset. Hapon lisäksi maitohappobakteerit tuottavat aromiyhdisteitä, joista tärkeimpiä ovat diasetyyli ja asetaldehydi sekä hiilidioksidi. (Driessen & Puhon 1988, 19)

Kolmanneksi maitohappobakteerit muokkaavat maidon ravitsemuksellisia ominaisuuksia. Pilkkomalla maidon proteiineja aminohapoiksi ne ovat myös helpommin ihmiselimistön käytössä, eikä kokonaisten proteiinien pilkkomiseen mene niin paljon energiaa. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 11)

Myös probioottien käytöllä parannetaan ravitsemuksellisia ominaisuuksia. Probiootit ovat bakteerikantoja tai niiden yhdistelmiä, joilla on erilaisia terveydellisiä vaikutuksia. Ne vaikuttavat ruuansulatuskanavassa, yleensä suolistossa, tasapainottamassa sen luonnollista mikrobiflooraa. Probiootit ovat yleensä laktobasilleja tai bifidobakteereja. Probiootin vaikutus terveyteen on osoitettava kliinisillä kokeilla ja vain tieteellisesti todettujen vaikutusten aikaansaavat bakteerikannat ovat probiootteja. Tutkituimmalla probiootilla *Lactobacillus rhamnosus* GG: llä on useita terveysvaikutuksia, kuten parantaa vastustuskykyä, vähentää infektioriskiä ja hampaiden reikiintymistä sekä ehkäisee ja hoitaa suolisto-ongelmia, kuten ripulia. (Valio Oy 2011) Lähes kaikilla piimänvalmistajilla Suomessa on omat probioottiset tuotemerkinsä piimissä.

### 2.2.2 Piimän hapate

Hapatebakteereita voidaan luokitella eri tavoilla. Yksi tapa on tarkastella bakteerin optimaalista kasvulämpötilaa. Termofiiliset bakteerit viihtyvät parhaiten 37- 45 °C lämpötilassa ja mesofiiliset, joita piimän hapatebakteerit ovat, 20- 30 °C (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 11-12)

Hapon- ja arominmuodostuksen mukaan hapatebakteerit jaetaan 0- ja D/L- hapateisiin. 0- hapateet tuottavat pelkästään happoa ja niitä käytetään lähinnä juustonvalmistuksessa. D/L- hapateet tuottavat hapon lisäksi aromiyhdisteitä. D- hapateissa on happoa tuottavien *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*:n ja *L.*

*lactis* ssp. *cremoris*:n lisäksi *L. lactis* ssp. *diacetylactis*:ta. L- hapatteissa haponmuodostajien lisäksi aromia muodostaa *Leuconostoc*- bakteeri. DL- hapatteessa on hapontuottajaa sekä D- ja L- hapatebakteereja. (Dairy Processing Handbook 2003, 243)

Fermentaation lopputuotteen mukaan hapatteet voidaan jakaa homo- ja heterofermentatiivisiin. Homofermentatiivisessa fermentaatiossa lopputuotteena on pelkkää maitohappoa, kun taas heterofermentaatiossa syntyy maitohapon lisäksi etanolia, etikkahappoa ja hiilidioksidia. Laktokokit ovat homofermentatiivisia, *Leuconostoc* puolestaan heterofermentatiivinen. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 24-25)

Taulukossa 1 on esitetty piimässä yleisimmin käytettävät hapatteet, niiden tehtävä hapatteessa, sekä luokittelu lämpötilan, hapon- ja arominmuodostuksen sekä fermentaation tyypin mukaan.

Taulukko 1. Piimän hapatebakteerien luokittelu (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 24-25; Hosono & Surono 2002a, 1019-1023; Hosono & Surono 2002a, 1023-1024)

Bakteeri	Tehtävä hapatteessa	Lämpötila-optimi	0, D/L	Fermentaatio
<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>	hapon tuotto	mesofiili	0, D, L, DL	homofermentaatio
<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i>	hapon tuotto	mesofiili	0, D, L, DL	homofermentaatio
<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> var <i>diacetylactis</i>	aromin tuotto, hiilidioksidi	mesofiili	D, DL	homofermentaatio
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ssp. <i>cremoris</i>	aromin tuotto	mesofiili	L, DL	heterofermentaatio
<i>Lactobacillus</i> ssp.	probiootti	termofiili	-	heterofermentaatio/homofermentaatio*
<i>Bifidobacterium</i> ssp.	probiootti	termofiili	-	heterofermentaatio

\*Osa kannoista heterofermentatiivisia, osa homofermentatiivisia

### 2.2.3 Hapатteen valmistus

Hapатteen valmistuksessa kasvatusalustana käytetään seosta, jossa on tarvittavia maidon komponentteja sekä lisäksi muita tarvittavia ravinteita, kuten hii-vauutetta, vitamiineja ja hivenaineita. Alustana voidaan käyttää myös maitoa tai maitojauheesta ennastettua valmistetta. Alusta valmistetaan aseptisesti ja steriloidaan. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 35-37; Dairy Processing Handbook 2003, 235-237)

Seuraavaksi kasvatusalustaan siirrostetaan viljeltyjä hapatemikrobikantoja. Tankissa, jossa fermentointi tapahtuu, on tarkkaan säädellyt olosuhteet. Tankissa säädellään pH:ta, lämpötilaa, sekoituksen voimakkuutta ja ilman kaasun koostumusta. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 35-37)

Fermentoinnin jälkeen hapatetta jäähdytetään, jonka jälkeen se tiivistetään sentrifugoinnilla tai ultrasuodatuksella. Hapatetiiviste tehdään pelleteiksi sädettämällä sitä nestemäiseen tyypeen. Tämän jälkeen hapate pakkaskuivataan tai pakastetaan sekä pakataan. Pakkaskuivattavaan tiivisteseen lisätään ainetta, joka suojelee mikrobisoluja pakastuksen ja sulatuksen aiheuttamilta vaurioilta. Valmista hapatetta säilytetään pakkasessa, pakastekuivattu -18 °C ja pakastettu -45 °C:ssa. Näin hapatteet säilyvät vähintään vuoden. Pakastettu tai pakkaskuivattu hapate lisätään suoraan piimämaitoon, annostelu on esimerkiksi 100g hapatetta/ 1000 l piimämaitoa. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 35-37)

Yllä oleva on esimerkki prosessista, joka tapahtuu hapatteen valmistukseen erikoistuneessa laitoksessa. Ennen meijerit valmistivat hapatteensa itse ja yleensä ne käytettiin tuoreena. Nykyään lähes kaikki meijereissä käytettävät hapatteet tilataan suoraan hapatetoimittajilta. Tämän etuja ovat hapatteiden pitkä säilyvyys, resurssien (laitteisto, henkilöstö) säästyminen meijereissä sekä hapatetuottajien suuri asiantuntemus hapatemikrobeista. Hapatetuottajat tekevät paljon tuotekehitystyötä, jotta voisivat tarjota asiakkailleen parhaita mahdollisia hapatteita asiakkaan tarpeisiin. Hapatetehtaiden hygieniataso on myös äärimmäisen korkea jotta kaikki hapatevalmistuksen vaiheet tapahtuisivat aseptisesti. Hapatetehtaiden laatutaso on samaa luokkaa, mitä lääketehailta vaaditaan. Suuria hapatetoimittajia ovat muun muassa Danisco cultor ja Chr Hansen. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 35-37; Manninen 2010)

#### 2.2.4 Bakteerin aineenvaihdunta

Maitohappobakteeri hajottaa laktoosia maitohapoksi, koska se saa siitä energiaa omiin elintoimintoihinsa ja lisääntymiseen. Sokerin lisäksi bakteerisolun tarvitsee rakennusaineikseen aminohappoja, solukalvon rakentamiseen rasvoja sekä elintoimintojen ylläpitämiseen, kasvuun ja lisääntymiseen vitamiineja ja kivennäisaineita. Solu tarvitsee myös aktiivista eli kemiallisesti sitoutumattomaa vettä. Bakteerien kasvua ehkäistäänkin elintarvikkeissa usein vähentämällä veden aktiivisuutta esimerkiksi suola- tai sokerilisäyksellä tai kuivattamalla. Bakteerisolun kasvun kannalta tärkeitä tekijöitä ovat myös pH, lämpötila ja happi. (Dairy Processing Handbook 2003, 55-60)

Maitohappobakteerien tärkeimmät aineenvaihduntareaktiot ovat homo- ja heterofermentaatio sekä sitruunahappokäyminen. Homofermentaatioissa glukosi kuljetetaan soluun, jossa se fermentoituu glyseraldehydiksi, joka fermentoituu edelleen puryvaatiksi. Puryvaatti fermentoituu maitohapoksi, jonka solu erittää ulkopuolelleen. Heterofermentaatioissa lisäksi osa glukoosista ferment-

toituu asetyyliksi, joka edelleen fermentoituu asetaldehydiksi. Asetaldehydista tulee etanolia, joka eritetään solun ulkopuolelle. Homo- ja heterofermentaatiot on esitetty liitteessä 2. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 14-18)

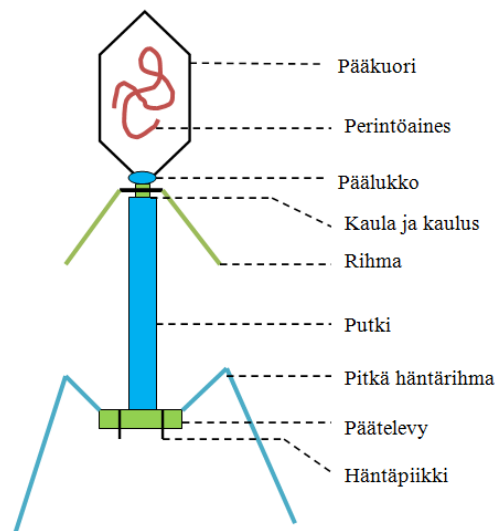
Sitruunahappokäymistä tapahtuu laktokokkeilla ja *Leuconostoc*- kannoilla. Sitruunahappomolekyyli kuljetetaan soluun, missä se hajotetaan oksaloasetaatiksi ja asetaatiksi. Oksaloasetatti muutetaan puryvaatiksi ja hiilidioksidiksi. Puryvaatti muuttuu asetaatiksi, butaanidioliksi ja diasetyyliksi. Diasetyyli on tärkeä aromitekijä piimässä. Sitruunahappokäymisen reaktiovaiheet on kuvattu liitteessä 3. (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 18-23)

## 2.2.5 Bakteriofagit

Piimän happanemisessa häiriöitä aiheuttavat muun muassa

- Piimämaidon estoainejäämät (antibiootit, pesuainejäämät)
  - Riittämättömästä lämpökäsittelystä johtuvat hapatemikrobin kasvua haittaavat entsyymit ja muut mikrobit ja niiden tuottamat bakteriosiinit
  - Maidon immunoglobuliinit (esiintyy paljon ternimaidossa)
  - Vapaat rasvahapot
  - Liennut happi
  - Väärä tai aktiivisuutensa menettänyt hapate
  - Bakteriofagit
- (Manninen 2010)

Bakteriofagit ovat bakteerien viruksia. Bakteriofageja esiintyy lähes kaikkialla ympäristössä, myös meijereissä. Ne ovat niin pieniä, 0,1 µm:n kokoisia, että ne leviävät helposti ilman mukana. Bakteriofagit eivät aiheuta tauteja eivätkä muuta vaaraa ihmisille, eläimille tai kasveille. (Loguerico n.d. 2)



Bakteriofagit, kuten muutkin virukset pystyvät lisääntymään vain isäntäeliönsä, eli tässä tapauksessa maitohappobakteerin avulla, koska niillä ei ole omaa aineenvaihduntaa. Viruksilla on pää, jossa niiden perintöaines, eli DNA tai RNA sijaitsee. Ne kiinnittyvät isäntäsolun pinnalle rihmoilla ja piikeillä ja ruiskuttavat perintöaineksensa soluun päästä lähtevän putken kautta. Kuvassa 3 on esitetty kaavamainen piirros viruksen rakenteesta. (Loguerico n.d. 2)

Kuva 3. Viruksen rakenneosat (Loguerico n.d., 2)



Isäntäsolussa viruksen perintöaines kiinnittyy osaksi solun omaa DNA:ta ja pakottaa näin solun valmistamaan viruksen rakenneosia. Isäntäsolun oma toiminta aineenvaihdunta ei tällöin pysty toimimaan, vaan se muuttuu ikään kuin minitehtaaksi, joka rakentaa uusia viruksia. Kun solu on täynnä uusia viruksia, sen solukalvo hajoaa virusten tuottaman entsyymin heikentäessä sitä. Isäntäsolu kuolee ja uusi virussukupolvi vapautuu. Yksi solu voi tuottaa 2-300 uutta virusta, ja infektion alusta siihen voi kulua 30 minuutista tuntiin, lämpötilasta riippuen. Viidessä tunnissa viruksia voi syntyä jopa kymmenen miljonnaa. (Loguerico n.d. 2)

Bakteerit ovat kehittäneet keinoja estää fagitartuntaa. Ne voivat estää virusta kiinnittymästä soluun, estää viruksen perintöaineksen siirtymisen soluun, pilkkoa jo soluun päätyneitä vierasta perintöainesta entsyymaattisesti tai keskeyttää infektion sen jo tapahduttua. Infektion keskeytyksessä isäntäsolu kuolee itse, mutta ei vapauta uusia viruksia. (Loguerico n.d. 4)

Fagitartunta aiheuttaa virheitä hapattamisessa, muun muassa viivästyttämällä kypsymistä, huonontamalla lopputuotteen laatua tai pahimmillaan pilaa koko tuotantoerän. Fagitartuntaa voidaan ehkäistä hygienisellä toiminnalla ja piimämaidon lämpökäsittelyllä (fagit tuhoutuvat 90- 95 °C). Jos infektiota on jo tapahtunut, hapate yleensä vaihdetaan toiseen, puhtaaseen hapatteeseen. Piimäprosessissa tuotantolinjat ovat yleensä suljettuja, lämpökäsittely on riittävä ja tuote pakataan heti. Nämä seikat vähentävät fagi-infektion riskiä. (Loguerico n.d. 4)

## 2.3 Valmistusprosessin vaikutus piimän rakenteeseen

Piimänvalmistusprosessin osavaiheet ovat yhteiskäsittely, hapatteenlisäys ja kypsytyys, ilmanpoisto, jäähdytys, pakkaus ja varastointi.

### 2.3.1 Yhteiskäsittely

Yhteiskäsittelyksi kutsutaan meijerin prosessivaiheita, jotka ovat kaikille tuotteille samat. Yhteiskäsittelyssä meijeriin vastaanotettu, laatutarkastettu raakamaito separoidaan, vakioidaan, homogenoidaan ja lämpökäsitetään (Rokka & Korhonen 1998, 64).

Separoinnissa erotetaan maidosta kerma ja rasvaton osa. Maito esilämmitetään 40- 50 °C:seen, jonka on todettu olevan optimaalinen lämpötila rasvan erottamiselle. Lämmitys tapahtuu yleensä lämpökäsittelylaitteiston, levylämmönvaihtimen, loppupäässä, jossa separointiin menevä kylmä maito lämpenee ja samalla jäähdyy lämpökäsiteltyä kuumaa maitoa. Separointi tapahtuu separaattorissa keskipakovoiman vaikutuksesta. Separoattorissa pyörivä kuula heittää raskaimmat partikkelit ulkokehälle, kun taas kevyemmät partikkelit pysyvät keskemmällä. Separoattori myös puhdistaa maidosta epäpuhtauksia. Separoinnin vaikutus piimämaitoon liittyy lähinnä rasvaan. Rasvapalloset

saattavat joutua separaattorissa mekaanisen rasituksen kohteeksi, mikä saattaa vahingoittaa niiden membraania ja näin altistaa rasva lipolyysille. (Rokka & Korhonen 1998, 66)

Vakioinnilla tarkoitetaan yleensä rasvapitoisuuden vakiointia. Vakioinnilla saadaan aikaan tuotteeseen haluttu rasvapitoisuus kun yhdistetään kermää ja rasvatonta maitoa halutussa suhteessa. Vakiointi tapahtuu joko panosvakiointina, jossa tankkiin ajetaan halutut määrät kermää ja rasvatonta maitoa yleensä homogenisaattorin läpi, tai jatkuvatoimisesti, jolloin vakiointi tapahtuu vakiointiasemassa, jossa venttiileillä säädellään rasvattoman maidon ja kerman virtausta. Vakioinnin vaikutukset maitoon ovat mekaanisia, johtuen siihen liittyvistä pumppauksista. Vakiointi myös antaa tuotteelle halutun rasvapitoisuuden. (Rokka & Korhonen 1998, 66)

Homogenoinnilla on valmistuksessa -kypsytyksen lisäksi- suurin vaikutus piimän rakenteeseen. Sen tarkoituksena on estää kerman nouseminen maidon pinnalle. Homogenoinnissa maidon rasvapallosten kokoa pienennetään ajamalla 40- 80 °C:seen lämmitetty maito suurella virtausnopeudella (150-300 m/s) ja paineella (70- 100 bar) pienien reikien läpi. Tällöin rasvapalloset venyvät, ja kun reikien jälkeen paine äkillisesti putoaa, rasvapalloset hajoavat ja membraani häviää niiden ympäriltä. Rasvapallojen koko pienenee 3-4 µm:stä 0,2-0,3 µm:iin. Membraanin osat muodostavat maidon komponenttien kanssa komplekseja ja sen tilalle muodostuu uusi kalvo kaseiinimiselleistä ja heraproteiineista. Tämä aiheuttaa sen, että rasvapalloista muodostuu maitoon hyvin pysyvä emulsio. Tästä syystä maidon ja näin myös lopputuotteen viskositeetti kasvaa huomattavasti. Rasvapallosten tasaisempi jakautuminen maitoon saa sen maistumaan täyteläisemmältä. Membraanien tuhoutuminen altistaa rasvan lipolyysille, mistä syystä maito on lämpökäsiteltävä välittömästi homogenoinnin jälkeen, jotta lipaasi inaktivoituu. (Rokka & Korhonen 1998, 66-67)

Lämpökäsittelyssä käytetään hapanmaitotuotteille yleensä lämpötila- aika – yhdistelmää 90-95 °C/ 2-5 min (Dairy Processing Handbook 2003, 259). Matalaviskoosisten tuotteiden, kuten maidon lämpökäsittelyssä käytetään yleensä levylämmönvaihdinta, jossa levyn toisella puolella kulkee tuote ja toisella kuuma vesi. Suurin vaikutus lämpökäsittelyllä on maidon säilyvyyden parantamiseen, kun pilaantumista aiheuttavat mikrobit ja entsyymit tuhoutuvat. Lämpökäsittelyssä heraproteiinit denaturoituvat ja muodostavat kaseiinimiselien kanssa herkästi hajoavia aggregaatteja sekä komplekseja rasvapallojen kanssa. Rasvasta muodostuu myös kuumennettaessa laktoneja, jotka aiheuttavat maitoon miellyttävää makua. (Rokka & Korhonen 1998, 68-69)

### 2.3.2 Hapatteen lisäys ja kypsytytys

Lämpökäsittelystä maito ajetaan kypsytystankkiin ja jäähdytetään joko matkalla tai tankissa hapatteelle sopivaan kypsytyslämpötilaan, joka on piimähapatteella noin 21 °C. Sopivan lämpöiseen maitoon lisätään valmis hapate. Ha-

patteenlisäyksessä on ehdottoman tärkeä toimia hygieenisesti, sillä lämpökäsitelty maito on altis kontaminaatiolle. Kontaminoituneen tuotteen kypsyminen saattaa häiriintyä ja laatu huonontua. Hapatteenlisäyksen jälkeen hapate sekoitetaan tasaisesti maitoon. Piimän kypsytyksessä kestää normaalisti noin 18 tuntia riippuen hapatteesta. (Dairy Processing Handbook 2003:248-259; Väliäho 1982, 61)

Piimän kypsyys todetaan mittaamalla pH ja arvioimalla piimä aistinvaraisesti. Valmiin piimän pH on noin 4,4 (Väliäho 2002, 61). Jos piimä laitetaan jäähdytymään korkeammassa pH:ssa, se heroittuu helpommin. Kun piimä on valmiista, sitruunahappokäyminen on jo tapahtunut. Kypsytyksen aikana piimään kehittyy se ominainen paksu rakenne. Piimän lopullinen rakenne saavutetaan kuitenkin vasta kylmävarastoinnin aikana. (Driessen & Puhon 1988, 29)

### 2.3.3 Ilmanpoisto

Ilmanpoisto tapahtuu vakuumilla kypsytyksen jälkeen. Se tehdään ylimääräisen hiilidioksidin ja ilman poistamiseksi. Liika ilma tuotteessa aiheuttaa hiutaleista ja ohutta rakennetta sekä heroittumista. Ilma voidaan poistaa myös sekoittamalla tuotetta kypsytystankissa, mutta koska lämpötila pysyy tässä kypsytyslämpötilassa ja kypsyminen voi jatkua, tuloksena voi olla liian paljon diasetyyliä piimässä. Ilmanpoisto vakuumissa parantaa piimän rakennetta, vähentää heroittumista verrattuna sekoitukseen, ja nopeuttaa rakenteen kehittymistä varastoinnin aikana. (Driessen & Puhon 1988, 29)

### 2.3.4 Jäähdytys

Jäähdytyksen pitää tapahtua mahdollisimman nopeasti kun piimä on saavuttanut halutun pH:n, jotta kypsyminen pysähtyy. Jäähdytys voi tapahtua kypsytystankissa tai levylämmönvaihtimella tai näiden yhdistelmällä. (Dairy Processing Handbook 2003, 259)

### 2.3.5 Pakkaus

Kypsytyksen jälkeiset tuotteen siirrot ja pumppaukset hajottavat piimän rakennetta niin että siitä tulee ohuempaa. Pakkauskoneet on suunniteltu niin, että ne muokkaavat tuotetta mahdollisimman vähän. Pakkaus tapahtuu noin 10-asteisena, kylmempi tuote on vaikeampi pakata suuremman viskositeetin takia. (Dairy Processing Handbook 2003, 275)

### 2.3.6 Varastointi

Varastointilämpötila on 4-6 °C. Varastoinnin aikana piimä saa lopullisen rakenteensa. Piimän säilyvyys on 10-15 vuorokautta ja avattu piimä säilyy hyvänä parin- kolmen vuorokauden ajan. Varastoinnin ja kuljetusten aikana on

tärkeää, että tuotteen kylmäketju säilyy ehjänä laadun ja säilyvyyden takaamiseksi. (Manninen 2010)

### 3 VISKOSITEETTI ELINTARVIKKEISSA

Elintarvikkeen aistinvaraiseen miellyttävyyteen vaikuttavat haju, maku, ulkonäkö ja rakenne. Makua ja hajua kutsutaan yhteisesti termillä favori. Favori aistitaan, kun suu- ja nenäontelossa olevat reseptorit ottavat vastaan kemiallisia ärsykeitä, eli ruuan sisältämiä aromiaineita sekä perusmakuja suolaista, makeaa, karvasta, hapanta ja umamia. Ulkonäkö ja osin rakenne aistitaan näköaistilla. Ruuasta havaitaan sen koko, muoto, väri, kiilto, huokoisuus ja niin edelleen. Rakennetta aistitaan tuntoaistilla. Ruokaa kädessä pitäessä siitä havaitaan esimerkiksi pehmeys, elastisuus ja murenevuus. Suussa havaitaan muun muassa sitkeys, venyvyys ja rakeisuus. (Bourne 1982, 1-2)

Ruuan rakenne on hyvin tärkeä osa sen miellyttävyyttä ja jopa niiden tunnistamista. Schiffmanin vuonna 1973 tekemässä kokeessa 29:ää soseutettua ruoka-ainetta maistatettiin koehenkilöillä. Koehenkilöiden piti tunnistaa ruoka-aineet maun perusteella, kun niiden rakenne ei antanut vihjeitä alkuperästä. Nuoret koehenkilöt tunnistivat ruoka-aineet kesimäärin 40- prosenttisesti ja iäkkäät koehenkilöt vain 30- prosenttisesti. (Bourne 1982, 1-3)

#### 3.1 Reologia

”Reologia kuvaa aineen muodon muuttumista siihen kohdistuvan voiman vaikutuksesta”. Näin on määritellyt Pirjo Rantamäki Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Koetoiminta- ja käytäntö- artikkelissa. Viskometria taas on reologian osa-alue, joka käsittelee nesteiden virtausominaisuuksia. (Rantamäki 2005)

Reologia tieteenä kehitettiin tutkimaan materiaalin muutoksia ja virtausta painomusteissa, kumeissa ja muoveissa. Elintarvikkeen reologiset ominaisuudet ovat hyvin tärkeitä elintarviketeollisuuden näkökulmasta, sillä ne määrittelevät pitkälti sen teollisen prosessoitavuuden ja vaatimukset prosessin suhteen. (Bourne 1982, 16-19)

Reologisessa tutkimuksessa on vielä kehitettävää, sillä elintarvikkeiden virtausominaisuudet tunnetaan vielä melko huonosti. Myös reologisten tutkimusmenetelmien ja aistinvaraisen arvioinnin välinen yhteys on jossain tapauksissa heikko, eli reologiset tulokset eivät vastaa aistiarvioita. (Bourne 1982, 16-19)

Psykoreologia on reologian osa-alue, joka tutkii elintarvikkeiden reologisia ominaisuuksia aistinvaraisin tutkimusmenetelmin. (Bourne 1982, 16-19)

#### 3.2 Viskositeetti

Viskositeetti on suure, joka kuvaa fluidin sisäistä kitkaa, eli sen taipumusta vastustaa virtausta. Fluidi voi olla neste tai kaasu, mutta koska kaasumaisia

elintarvikkeita ei ole, tässä keskitytään vain nesteiden viskositeettiin. (Bourne 1982, 16-19)

Viskositeettiin vaikuttaa lämpötila; kun lämpötila nousee, viskositeetti pienenee. Tämä johtuu aineen molekyylien välisten voimien heikkenemisestä, kun ne liikkuvat nopeammin aineen lämmitessä. Esimerkiksi veden viskositeetti on 20 °C:ssa  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , 60 °C:ssa  $0,46 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  ja 100°C:ssa  $0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . (Hautala & Peltonen 2005, 130-134)

### 3.2.1 Newtonin viskositeetilaki

Otetaan kaksi päällekkäin asetettua yhdensuuntaista levyä, pinta-alaltaan A, joiden välissä on tutkittavaa nestettä  $\Delta y$ :n paksuinen kerros. Vedetään päällimmäistä levyä vaakatasossa voimalla F, jolloin levy liikkuu nopeudella  $\Delta v$ . Tällaisella koejärjestelyllä voidaan määrittää nesteen viskositeetti käyttäen lauseketta

$$\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Jossa

$\tau$  = leikkausjännitys, yksikkö Pascal.  $\tau = \frac{F}{A}$  F=voima, jolla levy liikkuu,

A=levyn pinta-ala

$\eta$  = viskositeetti

$\Delta v$  = nopeus

$\Delta y$  = nesteen paksuus

(Hautala & Peltonen 2005, 121)

Newtonin viskositeetilaki kuvaa dynaamista viskositeettia  $\eta$ , jota kutsutaan myös absoluuttiseksi viskositeetiksi. Dynaamisen viskositeetin SI- järjestelmän mukainen yksikkö on Pascal\*sekunti,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ , mutta myös perinteistä yksikköä, Poisea käytetään. 10 000 Poisea vastaa 1  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ . Nestemäisten elintarvikkeiden viskositeetti on yleensä sellaista suuruusluokkaa, että käytetään yksiköitä millipascal ( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ) ja senttipoise (cP).  $1 \text{ mPa} \cdot \text{s} = 1 \text{ cP}$ . (Bourne 1982, 200-203)

Kinemaattiseen viskositeettiin vaikuttaa myös nesteen tiheys ja sen yksikkö on  $\text{m}^2/\text{s}$ :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Nesteitä, joiden viskositeetti on vakio ja joihin pätee Newtonin viskositeetilaki, kutsutaan newtonilaisiksi nesteiksi. (Hautala & Peltonen 2005, 130-134)

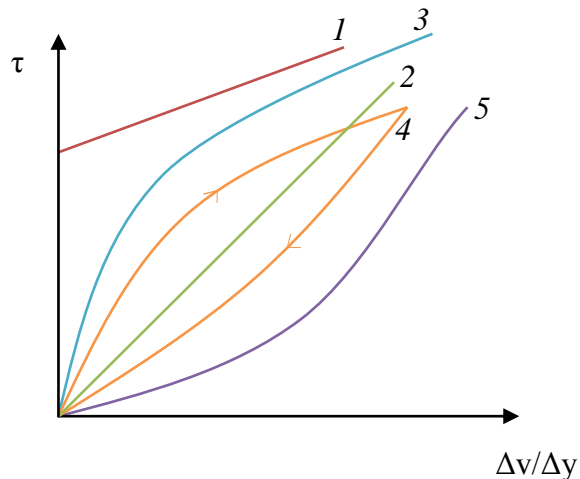
Ei-newtonilaisia nesteitä ovat plastinen ja pseudoplastinen neste, tiksotrooppinen neste ja dilatanttinen neste. Tiksotrooppisen nesteen viskositeetti laskee

ajan myötä, kun nestettä sekoitetaan vakionopeudella. Tiksotrooppisen nesteen leikkausjännityksen arvot ovat erilaisia nesteen sekoitusnopeutta lisättäessä kuin sitä vähennettäessä. Tämä ilmiö on nimeltään hystereesi. Dilatanttisilla nesteillä viskositeetti kasvaa leikkausvoiman kasvaessa. Plastiset nesteet ovat kiinteitä, jos niihin ei kohdistu voimaa. Kun leikkausjännitys nousee tietyn pisteen yli, neste alkaa virrata ja leikkausnopeuden funktio kasvaa. Pistettä, jossa plastinen neste alkaa virrata kutsutaan myötörajaksi. Erilaisten nesteiden leikkausjännitykset leikkausnopeuden funktiona on esitetty kuvassa 4. (Rantamäki 2005; Hautala & Peltonen 2005, 133-134)

Yleisimpiä nesteitä elintarvikkeissa ovat pseudoplastiset nesteet. Kun sekoitusnopeutta tai virtausta putkessa lisätään, nesteen viskositeetti laskee. Tämä johtuu siitä, elintarvikkeet sisältävät hiukkasia, hiukkasrykelmiä tai eri kokoisia pisaroita. Virtauksen kiihtyessä hiukkasrykelmät saattavat hajota, molekyylit aueta ja pisarat muuttaa muotoaan tai venyä. Hiukkaset suuntautuvat virtauksen mukaisesti. Nämä muutokset vähentävät viskositeettia. Joidenkin pseudoplastisten nesteiden viskositeetti palautuu kun virtausnopeus laskee, ja alkuperäinen rakenne palautuu. (Rantamäki 2005)

*Erilaisia nesteitä*

1. *Plastinen neste*
2. *Newtonilainen neste*
3. *Pseudoplastinen neste*
4. *Tiksotrooppinen neste*
5. *Dilatanttinen neste*



Kuva 4. Nesteiden leikkausjännitys leikkausnopeuden funktiona (Rantamäki 2005; Hautala & Peltonen 2005, 133-134)

### 3.3 Mittausmenetelmät

Yleisimpiä viskositeetinmittauslaitetyyppejä ovat kapillaari-, pudotus- ja rotaativiskosimetrit sekä uusimpina oskillaatiomittarit. Reologisia ominaisuuksia tutkitaan penetrometreillä ja erilaisilla rakenteenanalysointilaitteilla, joilla mitataan muun muassa leikkautuvuutta, kiinteyttä ja kypsyä (Bourne 1982, 44). Seuraavassa esimerkkejä viskositeetinmittauslaitteista ja -periaatteista.

### 3.3.1 Kapillaariviskosimetri

Kapillaariviskosimetreissä periaatteena yleisesti on, että tutkittavaa nestettä valutetaan hyvin ohuen (lasi)putken läpi ja valuma-aika mitataan. Tunnettu kapillaariviskosimetrityyppi on esimerkiksi Ostwaldin viskosimetri, jossa U:n muotoisella kapillaariputkella mitataan tutkittavan nesteen ja vertailunesteen, yleensä tislattun veden, valuma-ajat putkeen merkittyjen mittaviivojen välillä. Näin saadaan selville kinemaattinen viskositeetti, kun lasketaan

$$\frac{v}{v(0)} = \frac{t}{t(0)}$$

jossa

$v$  = tutkittavan nesteen kinemaattinen viskositeetti

$v(0)$  = vertailunesteen kinemaattinen viskositeetti

$t$  = tutkittavan nesteen valumisaika mittaviivojen välillä

$t(0)$  = vertailunesteen valumisaika mittaviivojen välillä

(Hautala & Peltonen 2005, 130-132)

### 3.3.2 Pudotusviskosimetri

Pudotusviskosimetrissa periaatteena on, että tutkittavaan nesteeseen pudotetaan kuula, joka saavuttaa nopeasti vakionopeuden eli rajanopeuden  $v_r$ , joka riippuu nesteen viskositeetista  $\eta$ . Mitataan aika, joka kuluu, kun kuula putoaa kahden mittaviivan väliä ja lasketaan viskositeetti lausekkeella

$$\eta = \frac{2}{9} \times \frac{(\rho(k) - \rho)r(k)^2 g}{v(r)}$$

jossa

$\rho(k)$  = kuulan tiheys

$r(k)$  = kuulan säde

$\rho$  = nesteen tiheys

$v(r)$  = rajanopeus mittaviivojen välillä

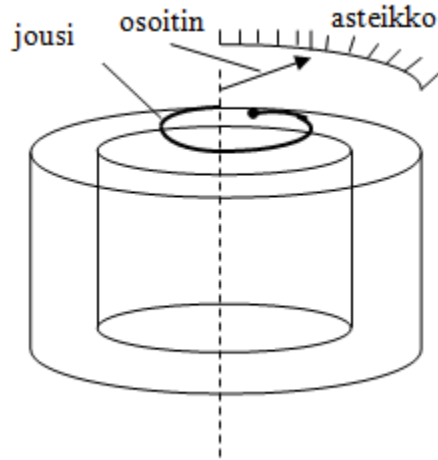
$g$  = kiihtyvyys  $9,81 \text{ m/s}^2$

(Hautala & Peltonen 2005, 132)

### 3.3.3 Rotaatioviskosimetri

Rotaatioviskosimetrejä käytetään yleisesti elintarvikkeiden mittaamiseen. Niissä periaatteena on, että kahden sisäkkäisen sylinterin välissä on tutkitta-





vaa ainetta. Kun toista sylinteriä pyöritetään vakiokulmanopeudella  $\omega$ , kohdistuu toiseen sylinteriin tutkittavan nesteen viskositeetista riippuva vääntömomentti. Toisenkin sylinteri pyrkii pyörimään, mutta pyöriminen estetään jousella, jonka kiertymiskulma on suoraan verrannollinen nesteen dynaamiseen viskositeettiin. Rotaatioviskosimetrin periaate on esitetty kuvassa 5. (Hautala & Peltonen 2005, 132)

Kuva 5. Rotaatioviskosimetrin periaatekuva. (Hautala & Peltonen 2005, 132)

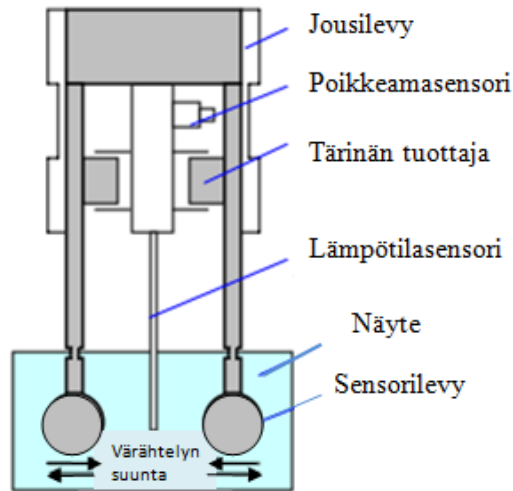
Sisempi sylinteri tai molemmat sylinterit voivat olla myös kartion muotoisia tai ohuen sisemmän sylinterin päässä tai keskellä saattaa olla vaakatasossa oleva pyöreä levy. Yleensä sisempi sylinteri onkin itse asiassa vaihdettava pää, joka valitaan kulloinkin mitattavan tuotteen mukaan. Myös pyörimisnopeutta voidaan säätää tuotteen mukaan. Riippuen käyttökohteesta ja -tavasta, on rotaatioviskosimetrejä on saatavilla kannettavina sekä paikallaan pysyvinä malleina. (Dairy Processing Handbook 2003, 43)

Elintarvikesovelluksissa käytettävät rotaatioviskosimetrit ovat yleensä tietokoneohjattuja (Rantamäki 2005). Uusissa reometreissä on mahdollisuus yhdistää rotaatioviskosimetrinen ja oskillaatiomittaus, kuten Anton Paarin MCR- sarjan laitteissa. (Anton paar n.d.) Muita rotaatioviskosimetrivalmistajia ovat Brookfield, ATS RheoSystems, ProRheo, Cole- Parmer ja Malvern.

### 3.3.4 Oskillaatiomittaus

Oskillaatiomittaus on erinomainen tapa mitata rakenteen kehittymistä, sillä mittaus ei vahingoita elintarvikkeen rakennetta. Sitä käytetäänkin esimerkiksi juuston juoksetumisen seuraamiseen. (Rantamäki 2005) Oskillaatiomittareiden etuna on myös suuri tarkkuus, kyky havaita pieniäkin muutoksia viskositeetissa, helppo ja nopea datan keräys sekä hyvä puhdistettavuus. (Bourne 1982, 188)

Oskillaatiomittarissa on levyn tai pallon muotoinen sensori, joka upotetaan tutkittavaan nesteeseen. Sensori värisee ja sen taajuus pidetään samana, jolloin amplitudi on verrannollinen sensorin ja näytteen väliseen kitkavoimaan, joka syntyy näytteen viskoosisuudesta. Laite mittaa sähkövirtaa, joka tarvitaan pitämään amplitudi tasaisena ja säätää käyttämänsä käyttötehon sen mukaan. Tarvittava käyttöteho on suoraan verrannollinen näytteen viskositeetin ja tiheyden summaan. Jos nesteen tiheys on jotain muuta kuin  $\text{kg/m}^3$ , saadaan absoluuttinen viskositeetti laskettua, kun jaetaan laitteen antama tulos näytteen tiheydellä. Kuvassa 6 näkyvät SV-A Vibro Viscometer- laitteen mittauspään osat. (A&D Company 2009)



Kuva 6. SV-A Vibro Viscometermittalaitteen osat. (A&D company 2009)

## 4 VARASTOINNIN VAIKUTUS RASVATTOMAN PIIMÄN RAKENTEeseen

Työn tarkoituksena oli tutkia, kuinka rasvattoman piimän rakenne muuttuu pakkauksen jälkeen varastoinnin aikana. Tutkimuksessa mitattiin rasvattoman piimän pintaviskositeettiä, pH:ta, lämpötilaa ja heranmuodostusta pakkaus-päivästä parasta ennen – päivään. Mittaukset tehtiin kahdesta eri piimäerästä. Lisäksi tutkittiin, miten eri kohtiin rullakkoon pakattujen piimäpurkkien lämpötila laskee pakkauksen jälkeen varastossa. Piimät pakattiin laatikoihin, joihin mahtuu 20 purkkia. Laatikot pinottiin rullakoille kaksi rinnakkain ja neljä päällekkäin.

### 4.1 Työn suoritus

Työ suoritettiin 7. ja 9.9.2011 valmistetuista piimäeristä. Näytepurkit otettiin pakkauslinjasta keskivaiheilta pakkausta, jotta mukaan ei tullut aloitus- eikä lopetuspurkkeja. Näytepurkit vietiin heti kylmiöön, jonka lämpötila oli mittausjakson ajan +3,5... +4 °C.

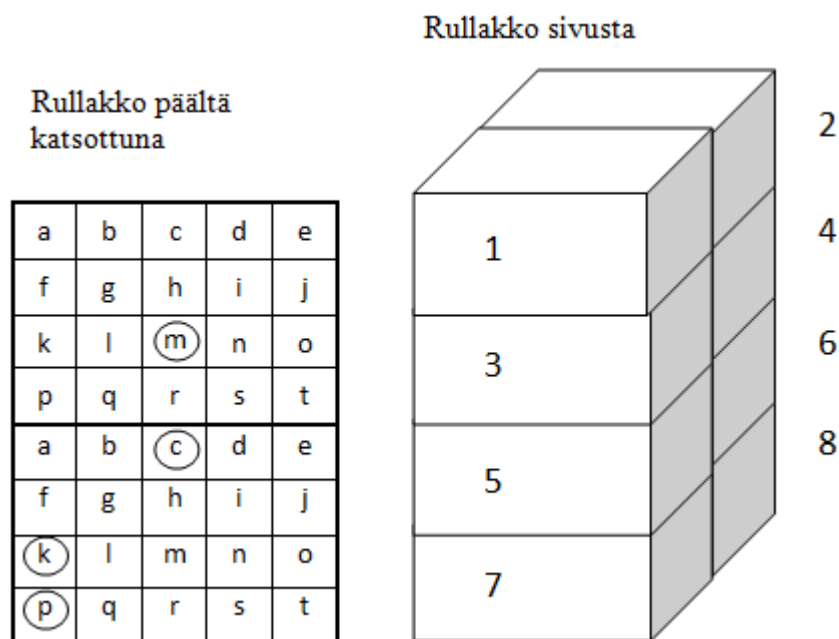
Mittaussarjoja oli kaksi; sarjan 1 näytepurkkeja säilytettiin laatikoissa ja sarjan 2 näytepurkkeja irrallaan väljästi kylmiössä. Näin tehtiin, koska haluttiin tutkia onko säilytystavalla vaikutusta mittaustuloksiin. Valio T&K:lla näytepurkkeja säilytetään koko säilyvyysajan laatikoissaan, kun taas Valio Tampereen laboratoriossa näytteet säilytetään irrallaan jääkaapissa, ja näiden mittaustuloksissa on ollut eroavaisuuksia.

Jokaisessa mittauksessa käytettiin kolmea rinnakkaisnäytettä tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Pakkauspäivänä mittaukset tehtiin kerran tunnissa ensimmäisten kymmenen tunnin ajan ja sen jälkeen kerran päivässä parasta ennen – päivään asti.

Viskositeetti mitattiin A&D Companyn SV-10 Vibro Viscometer- oskillatiomittarilla, jonka toiminta on esitelty edellisessä luvussa. Näytteitä käsiteltiin varovasti, jotta pinnalle mahdollisesti noussut hera ei sekoittuisi piimään. Näytepurkit avattiin leikkaamalla purkin harjaosa reunoistaan auki, jotta Vibro Viscometerin sensorit ylettivät piimän pintaan. Mittaus tehtiin laitteen ohjeiden mukaisesti ja tulos kirjattiin taulukkoon joka on liitteessä 4. Vibro Viscometer mittasi myös näytteen lämpötilan, joka kirjattiin samaan taulukkoon.

Heran määrä ja pH mitattiin eri purkeista kuin lämpötila ja viskositeetti, koska heran määrää mitattaessa näytteen piti olla koskematon. Purkit avattiin varovasti, ettei hera sekoittuisi piimään. Jos heraa oli pinnalla, se kaadettiin 500 ml:n mittalasiin, jonka mitta-asteikko oli 10 ml:n tarkkuudella. Hera kaadettiin takaisin purkkiin ja sekoitettiin tasaiseksi ravistamalla, jonka jälkeen siitä mitattiin pH. Heran määrä ja pH kirjattiin taulukkoon.

Piimien jäähtymistä varastossa mitattiin kahdesta eri rullakosta, kummastakin neljästä eri purkista. Mitattavat purkit sijoituivat rullakkoon kuvan 7 mukaisesti: 1p, 4m, 5c ja 7k. Lämpömittarit laitettiin purkkeihin pääliosaan tehdyn reiän kautta, ja varmistettiin, että lämpömittarit olivat tasaisesti piimässä eivätkä koskeneet purkin reunaan. Mittarit pidettiin paikoillaan koko mittauksen ajan. Ensimmäiset mittaukset tehtiin heti, kun rullakot tulivat kylmävarastoon, ja lämpötilaa mitattiin kerran tunnissa viiden tunnin ajan, kunnes tuotteet lähtivät jakeluun. Mittaukset tehtiin 28.9.2011.



Kuva 7. Piimien lämpötilan seuranta varastossa. Ympyröidyt kirjaimet kuvaavat niiden piimäpurkkien paikkoja, joista mittaukset tehtiin.

## 4.2 Tulokset

Taulukoidut tulokset viskositeetista, pH:sta, lämpötilasta ja pintaheran määrästä on esitetty liitteessä 4. Taulukko lämpötilan seurannasta varastossa on esitetty liitteessä 5.

Tulosten tulkitsemisessa on käytetty apuna Pearsonin korrelaatiokerrointa, joka määrittää muuttujien välistä lineaarista yhteyttä. Kerroin on -1 ja 1 väliltä niin, että samalla nousevalla suoralla linjalla sijaitsevat hajontakuvion pisteet saavat korrelaatiokertoimen 1 ja vastaavasti laskevalla suoralla -1. Mitä vähemmän korrelaatiota muuttujien välillä on, sen lähempänä nolla korrelaatiokerroin on. Pearsonin korrelaatiokerroin lasketaan kaavalla

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2] \times [\sum (y_i - \bar{y})^2]}}$$

Kaavassa

$x_i$  = muuttujan X i. havaintoarvo

$\bar{x}$  =  $x_i$ - arvojen keskiarvo

$y_i$  = muuttujan Y i. havaintoarvo

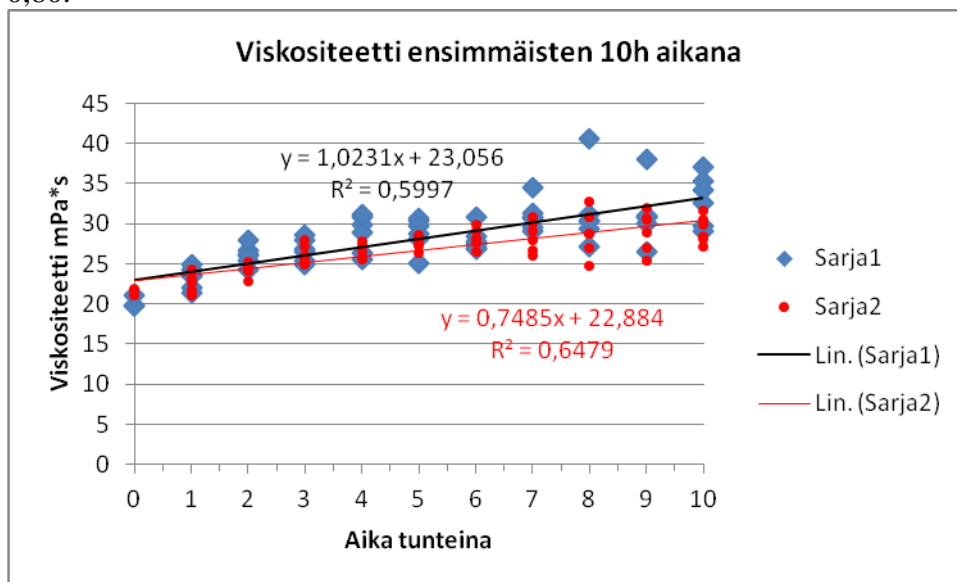
$\bar{y}$  =  $y_i$ - arvojen keskiarvo

(Holopainen & Pulkkinen 2008, 233-234)

Kuvaajissa korrelaatiokerroin R on korotettu toiseen potenssiin. Lisäksi kunkin sarjan havaintojen lineaarisuus on esitetty suoralla, jonka kulmakerroin näkyy kuvaajassa.

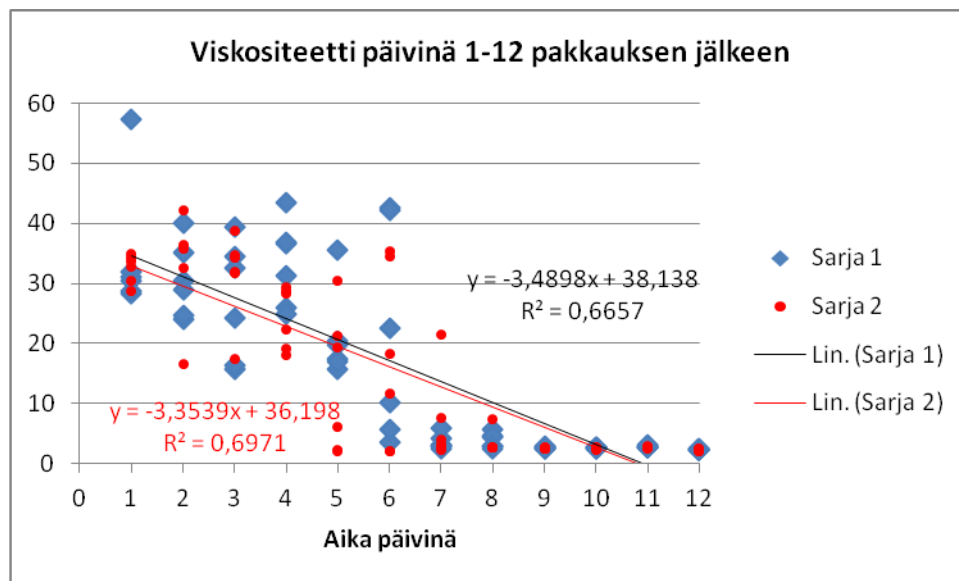
#### 4.2.1 Viskositeetti

Pakkauksen jälkeisten 10 tunnin aikana viskositeetti kasvoi molemmissa mitaussarjoissa melko tasaisesti noin 23 mPa\*s :sta noin 35 mPa\*s:iin. Molemmissa piimäerissä tulokset olivat samankaltaisia. Kuviossa 1 näkyy viskositeetin kasvu. Korrelaatio ajan ja viskositeetin välillä on melko vahva molemmissa sarjoissa. Sarjan 1 korrelaatiokerroin on 0,77 ja sarjan 2 kerroin on 0,80.



Kuvio 1. Viskositeetin muutos 10 tunnin aikana heti pakkauksen jälkeen

Pakkauksen jälkeisenä päivänä ja siitä parasta ennen- päivään asti viskositeetti laski, kuten kuviossa 2 on esitetty. Molemmissa sarjoissa viskositeetin lasku oli samankaltaista. Kuviosta 3 näkee, miten viskositeetti laskee rajusti kuuden ja seitsemän vuorokauden kohdalla. Myös tässä tarkastelussa sarjat 1 ja 2 käyttäytyvät samankaltaisesti. Sarjan 1 kulmakerroin on -0,82 ja sarjan 2 kerroin on -0,83.

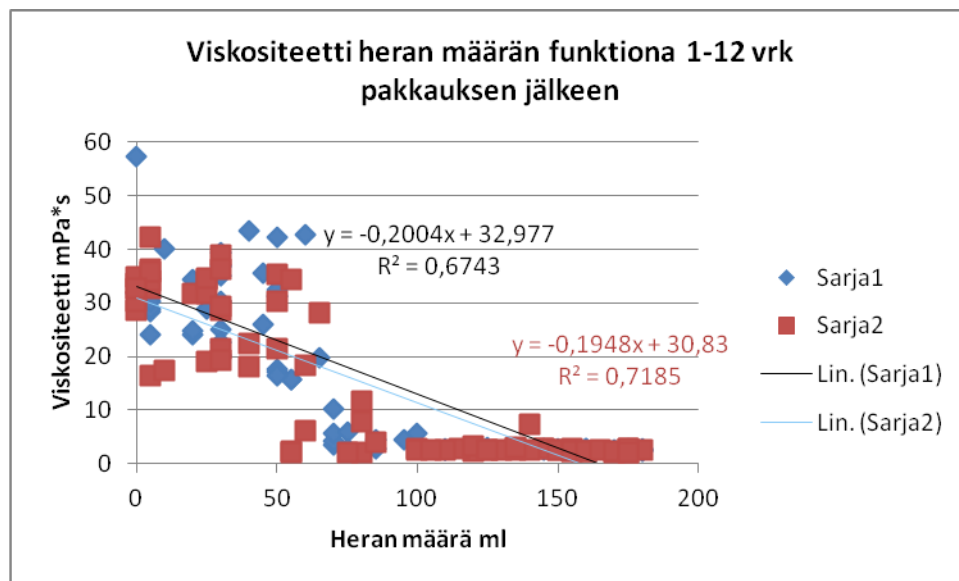


Kuvio 2. Viskositeetin muutos pakkauksen jälkeisestä päivästä parasta ennen- päivään



Kuvio 3. Viskositeetin muutos prosentteina pakkauksen jälkeisestä päivästä parasta ennen- päivään sarjan 1 ja sarjan 2 mittaustulosten keskiarvoina

Viskositeetin ja heranmuodostuksen välillä on selvä korrelaatio, kuten kuvios- ta 4 nähdään. Viskositeetin ja pH:n ja viskositeetin ja lämpötilan välillä ei sen sijaan ole selvää korrelaatiota. Kuviot niistä on esitetty liitteessä 6. Korrelaatiokerroin sarjassa 1 on 0,82 ja sarjassa 2 0,85.



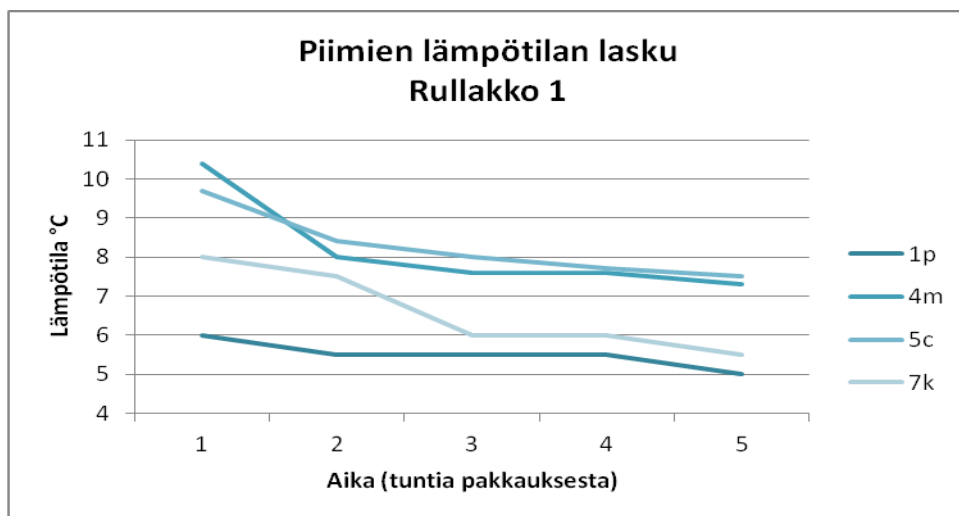
Kuvio 4. Viskositeetti heran määrän funktiona pakkauksen jälkeisestä päivästä parasta ennen- päivään

#### 4.2.2 Lämpötila, pH ja heran määrä

Pakkauspäivänä näytteiden lämpötila laski, koska piimä tuli pakkauskoneille varastointia korkeammassa lämpötilassa. 1-12 vrk:n näytteissä lämpötila näyttää kohonneen, mutta tämä johtui siitä, että näytteet joutuivat odottamaan mitausta huoneenlämmössä, koska kerrallaan mitattavia näytteitä oli paljon.

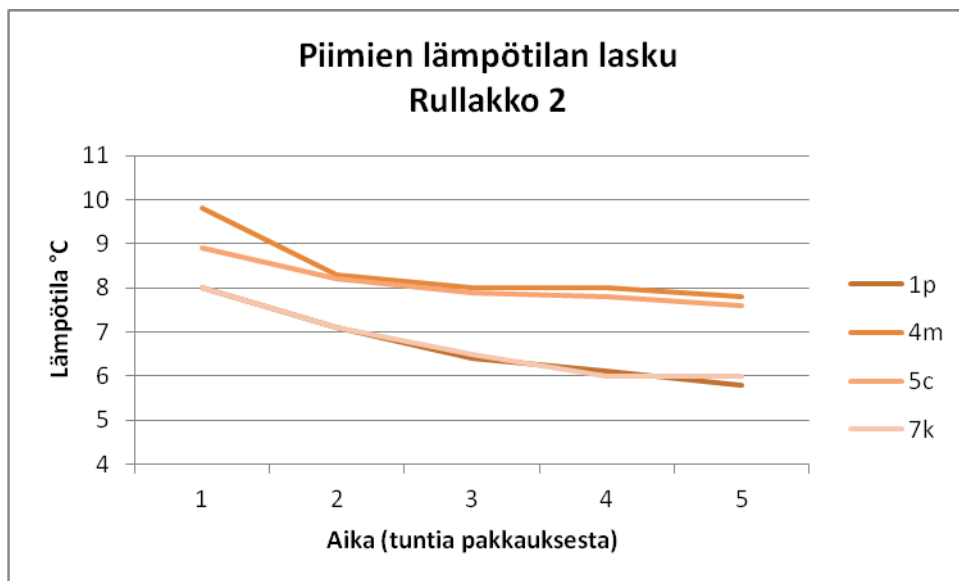
pH:n muutokset koko mittausaikana olivat pieniä. Pakkauspäivänä pH oli melko tasainen ja 1-12 vrk:n aikana se nousi hieman. Heraa alkoi muodostua toisena päivänä pakkauksen jälkeen ja sen määrä nousi eniten 6-8 vuorokauden aikana pakkauksen jälkeen, siis samoihin aikoihin kuin viskositeetti laski eniten. Kuvaajia lämpötilan, pH:n ja heran määrän muutoksista liitteessä 7.

#### 4.2.3 Lämpötilan seuranta varastossa



Kuvio 5. Piimien lämpötilan lasku rullakossa 1 viiden tunnin aikana

Lämpötila rullakon eri kohdissa olevilla purkeilla laski eri tahdissa. Reunimmaisina olevien piimien lämpötila laski enemmän kuin keskellä olevissa purkeissa. Varaston lämpötila oli mittauksen ajan +4... +5,2 °C. Kuviossa 5 ja 6 on esitetty graafisesti lämpötilan lasku rullakoissa 1 ja 2. Keskenmällä olleiden piimien (4m ja 5c) lämpötila laski noin 10 asteesta alle kahdeksaan mittauksen aikana, kun reunassa olevat piimät (1p ja 7k) jäähtyivät noin 5,5 asteeseen.



Kuvio 6. Piimien lämpötilan lasku rullakossa 2 viiden tunnin aikana



## 5 PÄÄTELMÄT

Pakkauspäivänä viskositeetti nousi, koska sen rakenne stabiloitui mekaanisen muokkauksen loputtua piimän pseudoplastisten ominaisuuksien takia. Viskositeetti lähti laskemaan pakkausta seuraavana päivänä, ja huomattava muutos siinä tapahtui kuudennen vuorokauden kohdalla. Ilmiö toistui kaikissa näytteissä ja molemmissa mittaussarjoissa, joten mielestäni tulos on luotettava.

Heran määrä selittää viskositeetin rajua laskua, koska tutkimuksessa mitattiin pintaheraa, eli näytettä ei sekoitettu. Heran viskositeetti on pienempi kuin piimän, joten pintaviskositeetin lasku kertoo heran muodostumisesta näytteen pinnalle. pH:lla ja lämpötilalla ei tämän tutkimuksen mukaan ole vaikutusta heran määrän lisääntymiseen ja siten viskositeetin laskuun.

1 ja 2 sarjojen välillä ei näissä mittauksissa havaittu sellaisia eroavaisuuksia, jotka selittäisivät aiemmin Valio Tampereen meijerillä ja Valio T&K:lla saatujen mittaustulosten eroja. Eroihin voi olla syynä esimerkiksi se, että näytteitä, jotka säilytetään Tampereella, ei liikutella pakkaamosta näytekyelmiöön siirtämisen jälkeen, kun taas T&K:lle menevät näytteet joutuvat mekaaniseen rasitukseen kuljetuksen ja siirtojen aikana.

Piimien lämpötila ei välttämättä ehdi laskea varastointilämpötilaan ennen niiden toimitusta eteenpäin tuotevarastosta. Eri kohdassa rullakossa olevat piimät jäähtyivät epätasaisesti, mikä saattaa vaikuttaa piimän rakenteeseen myöhemmin säilytyksen aikana.

### 5.1 Jatkotoimenpiteet

Jatkossa kannattaa tutkia, mikä aiheuttaa piimän rakenteen romahtamisen kuudennen vuorokauden jälkeen. Esimerkiksi kaasun vaikutus kannattaa tutkia, eli onko piimän kaasunpoistolla merkitystä rakenteen stabiiliuteen. Myös pakkausprosessin ja valmistusparametrien vaikutusta piimän rakenteen kehittymiseen kannattaa jatkossa tutkia.

Tämä työ oli perustutkimusta, jossa pyrittiin selvittämään minkälaisia muutoksia piimässä tapahtuu varastoinnin aikana ja milloin muutokset tapahtuvat. Tästä syystä tuloksena ei ole optimaalisia valmistusparametreja eikä muita muutoksia valmistukseen. Tämän työn tarkoituksena oli rakentaa pohjaa tuleville jatkotutkimuksille, joissa päästään syvemmälle piimän rakenteen muutoksiin ja niihin vaikuttaviin tekijöihin.

## LÄHTEET

- Aro, A. 2008. Lääkäriseura Duodecim. Terveyskirjasto.  
[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=skr00015](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=skr00015).  
Viitattu 12.10.2011.
- Anton Paar. n.d. MCR Rheometer Series. [http://www.anton-paar.com/MCR-Rheometer-Series/Rheometer/60\\_Nordic\\_en?product\\_id=45](http://www.anton-paar.com/MCR-Rheometer-Series/Rheometer/60_Nordic_en?product_id=45). Viitattu 17.11.2011.
- Battcock, M. & Azam-Ali, S. 1998. Fermented fruits and vegetables. A global perspective. FAO. <http://www.fao.org/docrep/x0560e/x0560e00.htm#con>.  
Viitattu 17.10.2011.
- Bourne, M.C. 1982. Food texture and viscosity. New York: Academic Press, Inc.
- Cultures- Meat. Shamrock food. n.d.  
<http://www.shamrockfood.com.au/cultures-meat.html> Viitattu 17.10.2011.
- Dairy Processing Handbook. 2003. Lund, Ruotsi: Tetra Pak Processing systems AB.
- Driessen, F.M. & Puhon, Z. 1988. Technology of mesophilic fermented milk. Bulletin of the International Dairy Federation. 277/1988.
- D-vitamiini auttaa kalsiumia imeytymään. n.d. Suomen osteoporoosiliitto ry.  
[http://www.osteoporoosiliitto.fi/sivu.php?artikkeli\\_id=1037](http://www.osteoporoosiliitto.fi/sivu.php?artikkeli_id=1037) Viitattu 14.10.2011
- Etälukion orgaaninen kemia. Opetushallitus. n.d.  
<http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia2/proteiini.html> Viitattu 12.10.2011.
- Hautala, M. & Peltonen, H. 2005. Insinöörin (AMK) Fysiikka. Osa 1. Lahti: Lahden teho-opetus Oy.
- Hosono, A. & Surono, I.S. 2002. Starter cultures. Teoksessa Roginski, H. (toim.) Encyclopedia of Dairy Sciences. Lontoo: Academic Press.
- Hosono, A. & Surono, I.S. 2002. Types and Standards of Identity. Teoksessa Roginski, H. (toim.) Encyclopedia of Dairy Sciences. Lontoo: Academic Press.
- Kauppinen, T. 1989. Elintarvikelaborantin proteiini-kemia. Helsinki. Valtion painatuskeskus.

Leivinhoivan historia. n.d. Suomen hiiva Oy.  
<http://www.suomenhiiva.fi/faktat/kasvatus.html>. Viitattu 17.11.2011.

Luova, T. 2010. Valion kuluttajapalvelu vastaa. Maito ja me. 1/2000.  
[http://ammattilaiset.valio.fi/maitojame/1\\_00/1kulpalv.htm](http://ammattilaiset.valio.fi/maitojame/1_00/1kulpalv.htm). Viitattu 17.10.2011

Loguerico, M. n.d. Bakteriofagi- yleiskuvaus. Esite. CHR Hansen.

Manninen, R. 2010. Hapatetut maitovalmisteet. Kurssimateriaali. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Mustajoki, P. 2010. Lääkäriseura Duodecim. Terveyskirjasto.  
[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00038](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00038)  
Viitattu 14.10.2011.

Paakkari, I. 2010. Lääkäriseura Duodecim. Terveyskirjasto.  
[http://terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk01044](http://terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01044).  
Viitattu 14.10.2011.

Products. n.d. Anton Paar. [http://www.anton-paar.com/MCR-Rheometer-Series/Rheometer/60\\_Corporate\\_en?product\\_id=45](http://www.anton-paar.com/MCR-Rheometer-Series/Rheometer/60_Corporate_en?product_id=45) Viitattu 8.11.2011.

Rantamäki, P. 2005. Reologia on elintarviketutkijan apuneuvo. Koetoiminta ja käytäntö. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 62. vuosikerta. Numero 4. Liite 19.12.2005.  
<http://www.mtt.fi/koetoiminta/pdf/mtt-kjak-v62n04s13b.pdf>. Viitattu 7.11.2011.

Riikola, V.-M. 2003. Piimien laadun parantaminen Valio Oy Oulun meijerissä. Hämeen ammattikorkeakoulu. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Rokka, T. & Korhonen, H. 1998. Prosessoinnin vaikutus maidon laatuun. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. Maatalouden tutkimuskeskus.

SV-A Series Sine-wave Vibro Viscometer User's handbook. 2009. A&D Company. 8.

Tamime, A.Y., Skriver A. & Nilsson, L.-E. 2006. Nordic/Scandinavian Fermented Milk Products. Teoksessa Tamime, A.Y. (toim.) Fermented Milks. Singapore: Blackwell Science Ltd.

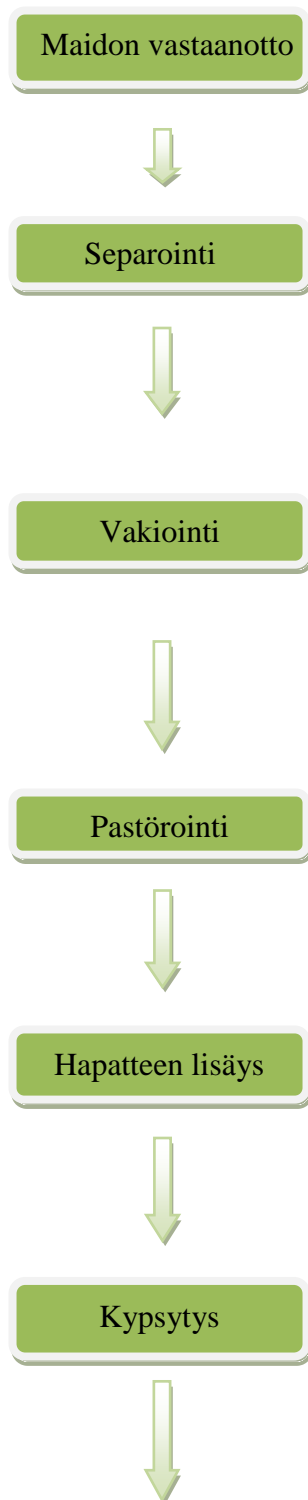
Tamime, A.Y., Skriver A. & Nilsson, L.-E. 2006. Types of fermented milks. Teoksessa Tamime, A.Y. (toim.) Fermented Milks. Singapore: Blackwell Science Ltd.

Usein kysyttyä. 2011. Valio Oy.

[http://www.valio.com/portal/page/portal/ammattilaiset/ravitseminen\\_ja\\_terveys/ravitseminen/vastustuskyky26022009134650/usein\\_kysyttya03032009130251](http://www.valio.com/portal/page/portal/ammattilaiset/ravitseminen_ja_terveys/ravitseminen/vastustuskyky26022009134650/usein_kysyttya03032009130251)  
Viitattu 17.10.2011.

Väliäho, A. 1982. Piimänvalmistusteknologiasta. Helsingin yliopisto. Maitotalouslaitos. Pro gradu- tutkielma.

## PIIMÄNVALMISTUKSEN VUOKAAVIO



Aistinvarainen laadun varmistus.  
Antibioottitestaus.

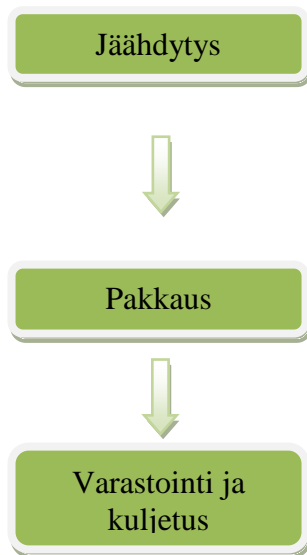
Rasvaton maito ja kerma erotetaan keskipakoöisvoiman avulla. Samalla poistetaan epäpuhtauksia.

Kermää ja rasvatonta maitoa yhdistetään oikeassa suhteessa niin että saadaan piimämaidolle haluttu rasvapitoisuus.

Oikealla lämpötila-aika – yhdistelmällä tapetaan maidosta bakteerit ja inaktivoidaan entsyymejä, mm. lipaasientsyymi. Esim. 92 °C /5 s.

Ennen hapanteen lisäystä maito jäädytetään hapanteelle ominaiseen kasvatuslämpötilaan, noin 21 asteeseen.

Kypsytyt kestää hapanteesta riippuen 18- 24 tuntia. Kypsytyksen onnistuminen tarkistetaan mittaamalla piimästä happamuus, joka on noin 4,4 pH.

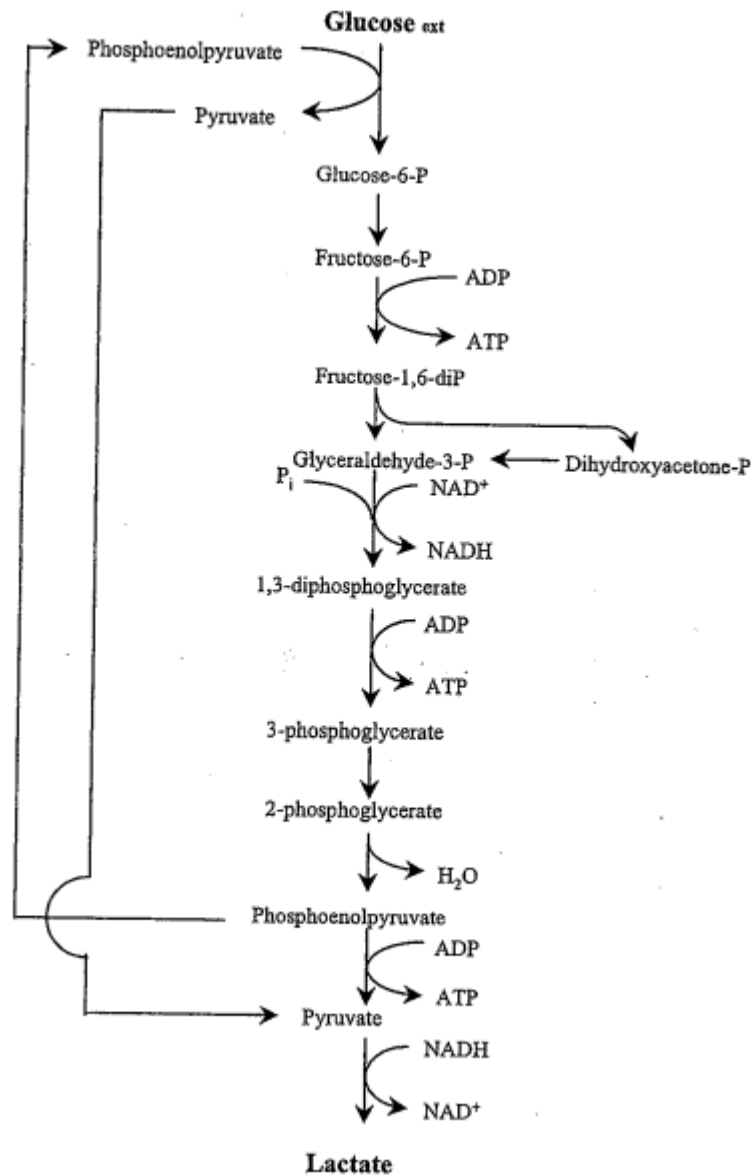


Piimä jäähdytetään pakkauslämpötilaan, noin 10 asteeseen. Hapatteen kasvu lakkaa, eli happaneminen lakkaa.

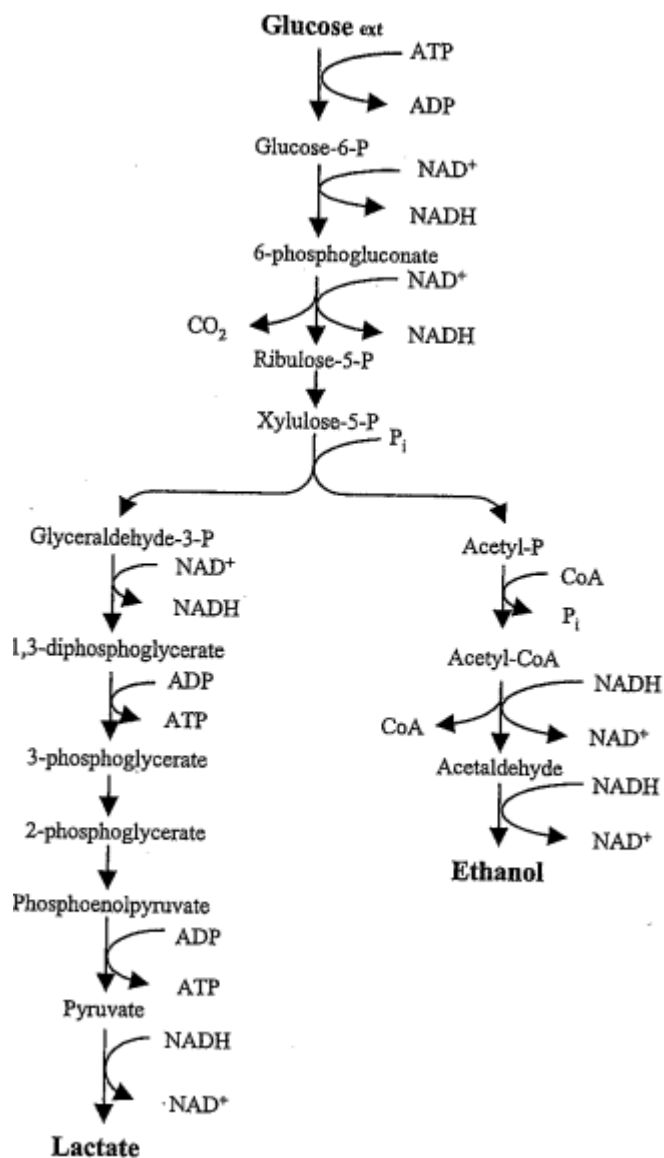
Pakataan litran harjakattopakkauksiin.

Varastointilämpötila on 4 °C.

## HOMOFERMENTAATIO JA HETEROFERMENTAATIO



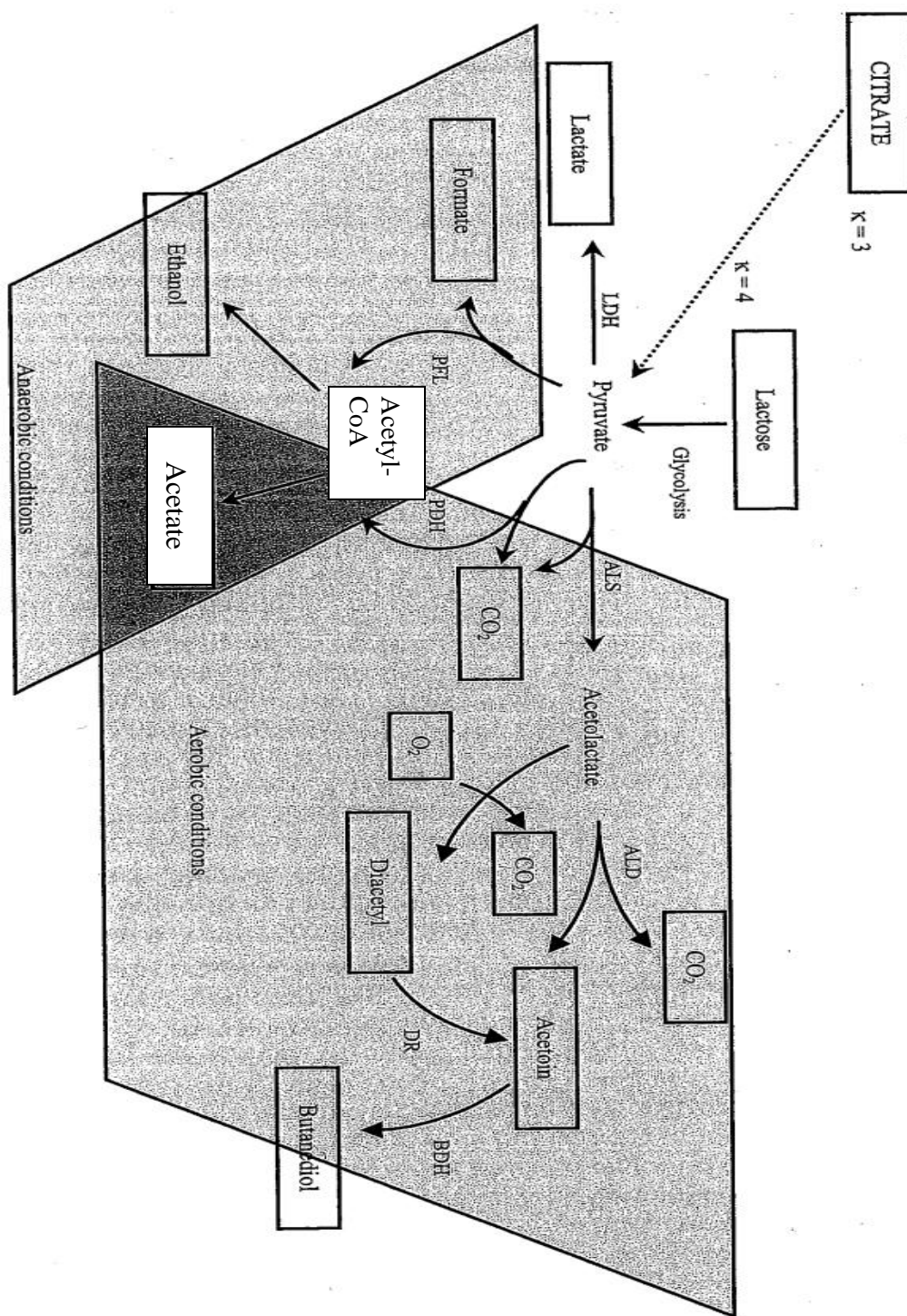
Kuva 8. Maitohappobakteerin homofermentaatio (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 17)



Kuva 9. Maitohappobakteerin heterofermentaatio (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 17)



# SITRUUNAHAPPOKIERTO



Kuva 10. Sitrnunahappokierto (Tamime, Skriver & Nilsson 2006, 20)

**TAULUKOIDUT TULOKSET VISKOSITEETIN, LÄMPÖTILAN, HERAN MÄÄRÄN  
JA PH:N MITTAUKSISTA 7. JA 9.9.2011.**

Tulokset	pvm			7.9.								
sarja 1	Viskositeetti mPa			pH			Hera ml			Lämpötila °C		
h	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3
12:50	9,12	10	10,2	4,35	4,35	4,36	0	0	0	9,3	9	9,9
14:07	24,93	23,4	24,31	4,33	4,32	4,34	0	0	0	7,3	7,7	7,9
14:48	25,36	26,64	26,06	4,33	4,32	4,34	0	0	0	7,4	7	7,1
15:48	26,89	24,89	25,38	4,33	4,34	4,34	0	0	0	7	7,1	6,8
16:46	29,83	25,56	26,37	4,45	4,34	4,36	0	0	0	6,4	6,5	6,9
17:48	30,33	25,11	30,71	4,33	4,32	4,33	0	0	0	6	6,2	6,1
18:44	27,49	26,8	27,81	4,26	4,31	4,31	0	0	0	5,1	5,5	5,9
19:47	30,81	29,1	29,52	4,31	4,33	4,33	0	0	0	5,7	5,8	5,6
20:42	31,16	29,36	27,08	4,33	4,32	4,34	0	0	0	6,1	6,7	7
21:42	30,01	30,89	26,44	4,28	4,31	4,33	0	0	0	6,4	6,1	6,5
22:42	32,51	29,14	29,64	4,32	4,32	4,33	0	0	0	5,6	6	5,9
pv												
1	57,32	31,06	28,28	4,22	4,25	4,28	0	<5	<5	5,1	5,4	5,9
2	24,04	40,12	35,07	4,23	4,24	4,26	<5	10	30	4,6	4,6	4,9
3	34,4	39,34	24,2	4,23	4,24	4,25	20	30	20	5	5	5,3
4	25,9	24,96	31,25	4,23	4,22	4,26	45	30	50	5,2	5,5	5,7
5	17,52	15,73	17,03	4,23	4,25	4,26	50	55	50	4,6	4,9	5,2
6	3,61	5,77	10,22	4,24	4,25	4,26	70	70	70	5,1	5,7	6
7	4,26	2,87	6	4,17	4,2	4,22	70	85	75	4,8	4,9	5,5
8	5,7	4,45	4,51	4,23	4,23	4,23	100	85	95	4,9	5,2	5,4
9	2,73	2,63	2,88	4,04	4,17	4,24	110	110	120	5,1	5,4	5,5
10	2,73	2,79	2,67	4,22	4,23	4,27	125	145	180	6,2	6,5	7,1
11	2,62	2,72	2,63	4,27	4,27	4,31	155	160	155	6,3	6,1	6,9
12	2,47	2,29	2,22	4,29	4,32	4,29	170	175	155	5,4	6,2	6,6

Tulokset	pvm			7.9.								
sarja 2	Viskositeetti mPa			pH			Hera ml			Lämpötila °C		
h	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3
12:55	9,56	9,37	10	4,37	4,36	4,36	0	0	0	10,3	9,6	10,5
14:13	22,69	23,17	24,24	4,34	4,36	4,35	0	0	0	8,1	8,3	8,9
14:57	24,61	24,64	24,14	4,34	4,34	4,36	0	0	0	7,4	7,5	8,2
15:58	26,05	24,93	27,13	4,37	4,36	4,36	0	0	0	7,9	8,2	8,1
16:54	25,67	25,62	25,73	4,36	4,35	4,36	0	0	0	7,5	7,5	7,8
17:57	27,29	28,57	27,28	4,35	4,36	4,36	0	0	0	7,2	7,3	7,4
18:51	26,49	28,12	28,09	4,32	4,36	4,34	0	0	0	6,9	7	7,2
19:54	26,04	29,07	26,66	4,35	4,35	4,36	0	0	0	6,4	6,5	6,8
20:50	27,05	30,89	24,82	4,35	4,35	4,37	0	0	0	6,7	7,1	7,3
21:51	30,62	27,05	25,37	4,33	4,35	4,35	0	0	0	6,3	6,5	6,5
22:50	30,56	28,09	28,49	4,34	4,35	4,36	0	0	0	6,4	6,8	6,7
pv												
1	28,63	33,54	30,36	4,3	4,28	4,28	0	0	0	6,1	6,7	7,1
2	32,66	36,32	42,16	4,26	4,28	4,29	5	<5	<5	5,6	5,3	5,4
3	31,82	34,32	38,84	4,26	4,28	4,28	20	25	30	5,5	5,6	5,9
4	28,25	28,72	18,11	4,28	4,27	4,27	65	30	40	6	6	6,9
5	2,22	6,14	2,15	4,29	4,29	4,28	55	60	55	6,5	5,9	7,3
6	2,06	2	11,65	4,27	4,29	4,27	80	75	80	7,5	7	7,3
7	2,66	2,36	3,21	4,24	4,25	4,27	135	120	120	5,8	6,2	6,8
8	7,29	2,76	2,73	4,23	4,26	4,28	140	145	135	6,1	7,1	8
9	2,71	2,75	2,49	4,33	4,27	4,29	145	115	140	6,6	7,2	7,8
10	2,66	2,59	2,72	4,29	4,31	4,31	150	150	155	7,3	7,4	8,1
11	2,59	2,67	2,41	4,33	4,35	4,36	180	175	160	7,4	7,1	8
12	2,18	2,08	2,25	4,34	4,36	4,38	170	175	160	7,3	7,5	8

# Rasvattoman piimän rakenteen muuttuminen varastoinnin aikana

Tulokset	pvm		9.9.									
sarja 1	Viskositeetti mPa			pH			Hera ml			Lämpötila °C		
h	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3
12:20	19,79	19,85	21	4,34	4,32	4,34	0	0	0	9,2	9,1	9,5
13:16	23,57	21,98	21,35	4,32	4,33	4,33	0	0	0	9,3	9,4	9,8
14:14	24,21	26,19	27,91	4,32	4,33	4,32	0	0	0	7,6	8	8,1
15:20	27,94	26,51	28,59	4,3	4,31	4,33	0	0	0	7	7,6	7,3
16:17	28,93	30,77	31,19	4,31	4,32	4,33	0	0	0	6,4	6,3	7
17:17	28,07	29,67	28,79	4,31	4,3	4,32	0	0	0	6,7	6,3	6,6
18:18	28,4	27,04	30,8	4,27	4,3	4,31	0	0	0	5,7	6,2	6,2
19:17	34,48	30,72	31,25	4,3	4,3	4,33	0	0	0	6,2	6,2	6,2
20:16	40,52	30,31	30,39	4,32	4,3	4,31	0	0	0	6,2	6	6,3
21:15	37,95	30,96	30,84	4,28	4,3	4,31	0	0	0	5,4	5,8	5,5
22:12	37,13	35,31	34,21	4,31	4,3	4,31	0	0	0	5,2	5,4	5,7
pv												
1	31,85	28,78	30,37	4,26	4,27	4,3	0	5	<5	4,8	5,2	5,3
2	30,42	28,93	24,72	4,27	4,28	4,3	30	25	20	4,9	4,8	5,1
3	15,75	16,38	32,54	4,27	4,29	4,28	55	50	50	5	5,1	5,1
4	36,67	36,91	43,51	4,22	4,25	4,27	30	30	40	4,8	5,1	5,6
5	20,34	35,54	19,81	4,24	4,24	4,26	30	45	65	4,8	4,8	4,8
6	42,68	22,55	42,25	4,25	4,32	4,3	60	30	50	4,8	4,8	4,7
7	2,57	3,02	2,89	4,27	4,29	4,27	110	125	75	5,4	5,5	5,9
8	2,83	2,85	2,49	4,28	4,31	4,29	150	160	145	5,2	5,6	6,5
9	2,55	2,5	2,74	4,31	4,32	4,33	180	175	175	5	5,5	6
10	2,6	2,52	2,5	4,3	4,32	4,33	175	175	180	6,1	6,2	7,1
11	2,81	2,79	3,02	4,32	4,33	4,35	160	145	135	7,7	8,1	7,6
12	2,56	2,22	2,29	4,29	4,31	4,34	170	180	175	6,7	6,9	7,8

sarja 2	Viskositeetti mPa			pH			Hera ml			Lämpötila °C		
h	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3	näyte 1	näyte 2	näyte 3
12:30	21,67	21,94	21,08	4,33	4,33	4,33	0	0	0	8,8	8,9	9,2
13:24	21,1	21,31	21,76	4,34	4,35	4,36	0	0	0	9,5	9,3	9,6
14:21	24,28	22,77	25,25	4,33	4,33	4,34	0	0	0	8,3	8,4	8,7
15:26	27,91	25,12	25,48	4,33	4,33	4,34	0	0	0	8	8,2	8,3
16:20	27,72	27,24	26,47	4,34	4,33	4,33	0	0	0	7,3	7,4	7,6
17:25	27,9	26,29	28,43	4,33	4,33	4,32	0	0	0	7,2	7,6	7,5
18:27	29,06	29,93	27,64	4,33	4,34	4,32	0	0	0	7,1	7,4	7,4
19:24	30,01	30,9	27,88	4,31	4,33	4,33	0	0	0	6,8	7	7
20:23	28,76	28,73	32,78	4,32	4,33	4,33	0	0	0	6,4	6,7	6,8
21:22	32,01	30,49	28,94	4,31	4,32	4,3	0	0	0	6,4	5,7	6,1
22:19	29,89	27,12	31,67	4,32	4,32	4,33	0	0	0	6,4	6,5	7
pv												
1	34,85	34,22	32,79	4,31	4,3	4,3	0	<5	0	4,8	5	5,4
2	16,49	35,87	36,28	4,28	4,3	4,3	5	5	30	5,5	5,3	5,5
3	31,72	34,67	17,38	4,29	4,28	4,29	25	25	10	5,8	5,8	6,3
4	22,36	19,15	29,46	4,29	4,29	4,29	40	25	30	6,5	5,4	6,2
5	21,34	30,35	19,39	4,27	4,27	4,27	30	50	30	5,1	5,3	5,4
6	35,4	18,24	34,4	4,27	4,28	4,28	50	60	55	5,5	5,8	5,8
7	7,69	21,37	3,91	4,28	4,29	4,28	80	50	85	6,1	6,2	7,2
8	2,75	2,64	2,59	4,29	4,3	4,31	100	100	110	5,4	5,9	6,9
9	2,52	2,56	2,57	4,34	4,34	4,36	125	125	105	5,6	5,6	6,6
10	2,38	2,35	2,38	4,38	4,38	4,39	155	160	170	6,8	6,6	7,5
11	2,62	3	2,74	4,36	4,36	4,35	130	135	175	8,4	7,5	8,5
12	2,42	2,54	2,14	4,37	4,38	4,39	155	165	175	7,9	7,9	9,2

TAULUKOIDUT TULOKSET  
TUOTEVARASTOSSA 28.9.2011

LÄMPÖTILAN

MITTAUKSISTA

rullakko 1

	1p	4m	5c	7k
klo	Lämpötila °C			
13.31	6	10,4	9,7	8
14.30	5,5	8	8,4	7,5
15.29	5,5	7,6	8	6
16.35	5,5	7,6	7,7	6
17.27	5	7,3	7,5	5,5

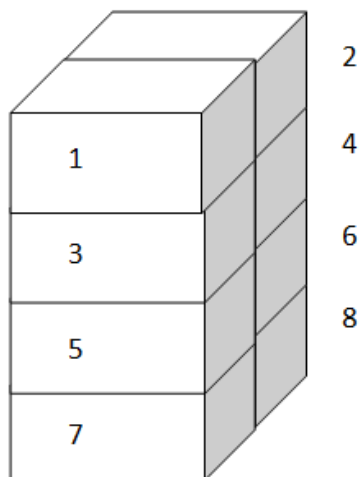
rullakko 2

	1p	4m	5c	7k
klo	Lämpötila °C			
13.38	8	9,8	8,9	8
14.32	7,1	8,3	8,2	7,1
15.30	6,4	8	7,9	6,5
16.37	6,1	8	7,8	6
17.29	5,8	7,8	7,6	6

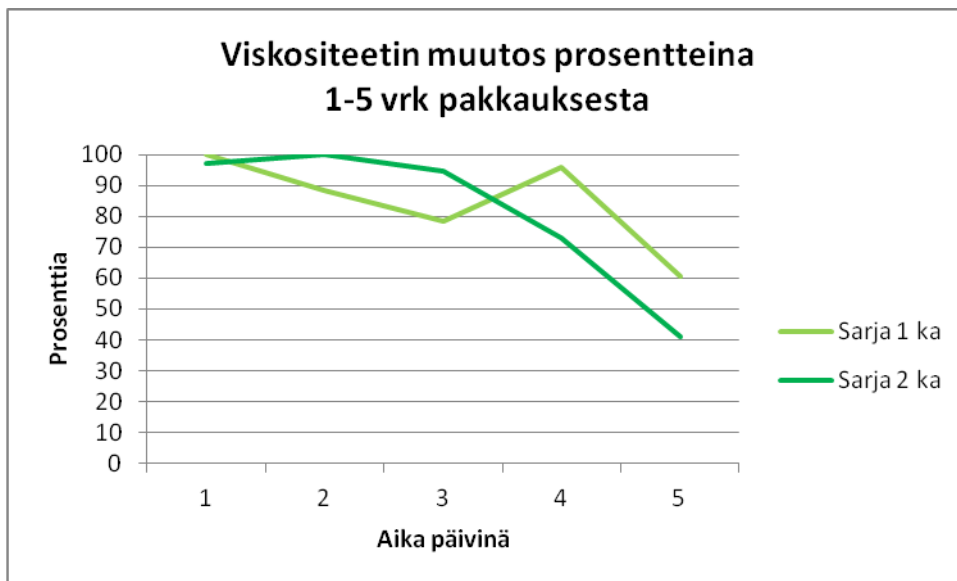
Rullakko sivusta

Rullakko päältä  
katsottuna

a	b	c	d	e
f	g	h	i	j
k	l	m	n	o
p	q	r	s	t
a	b	c	d	e
f	g	h	i	j
k	l	m	n	o
p	q	r	s	t



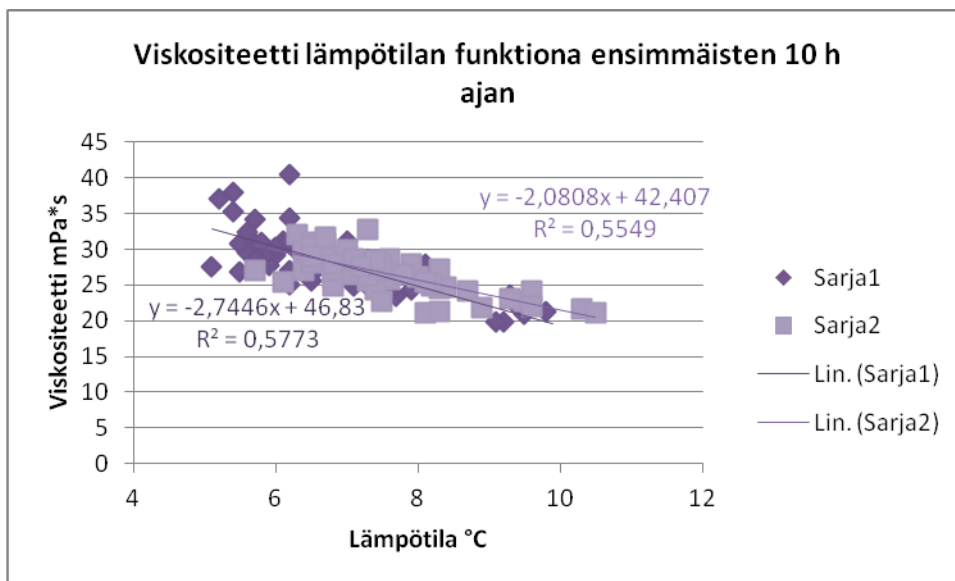
## KUVAAJIA VISKOSITEETIN MITTAUKSISTA



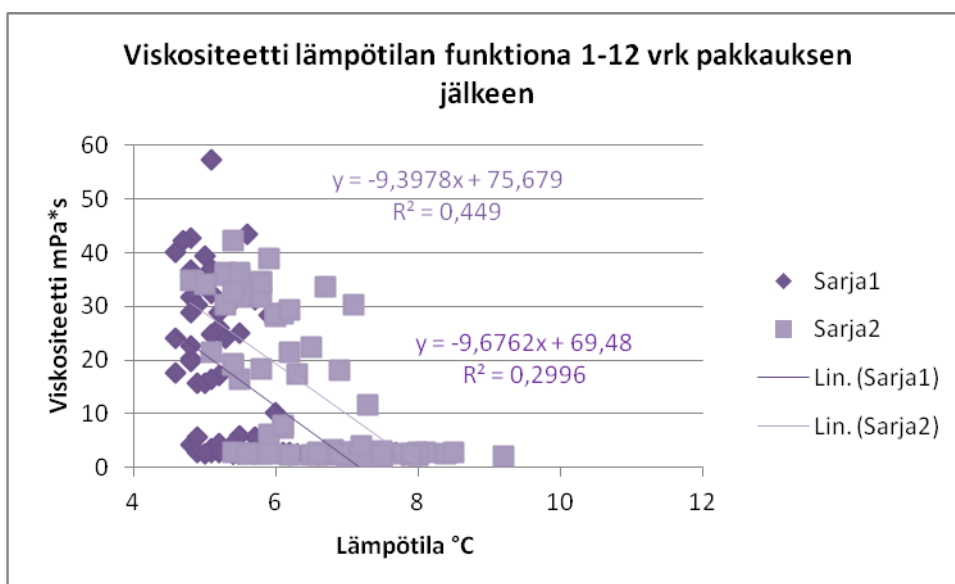
Viskositeetin muutos ensimmäisen ja viidennen vuorokauden välillä on sarjassa 1 40 % ja sarjassa 2 60 %. Sarjassa 2 viskositeetti laskee tasaisesti mittausjakson aikanan, mutta 1-sarjassa on neljännen päivän kohdalla nousupiikki viskositeetissa.



Yllä olevassa kuvaajassa näkyy selvästi, miten viskositeetti laskee rajusti kuudennen päivän jälkeen. Muutos prosentteina on lähes 90 %.

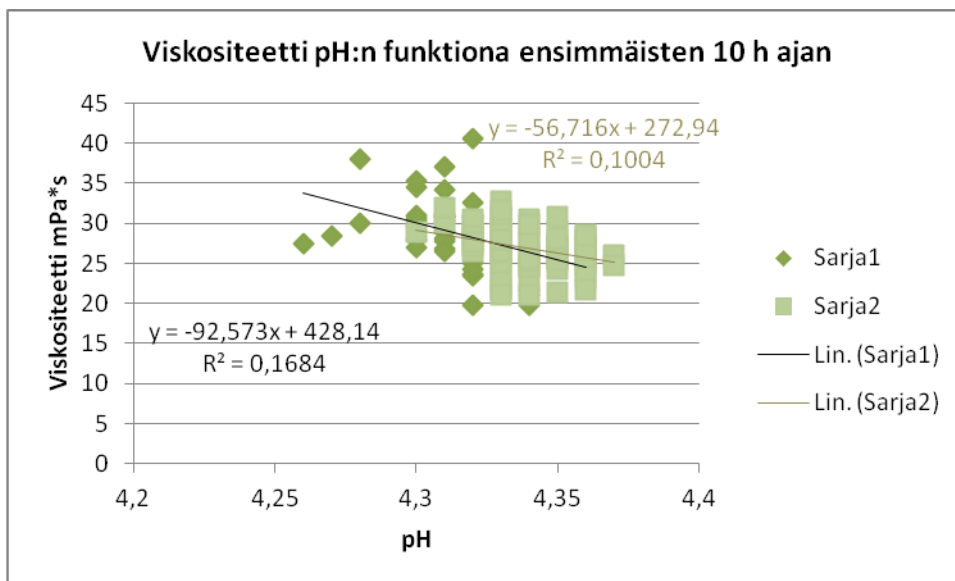


Sarjan 1 korrelaatiokerroin on -0,75 ja sarjan 2 kerroin -0,74

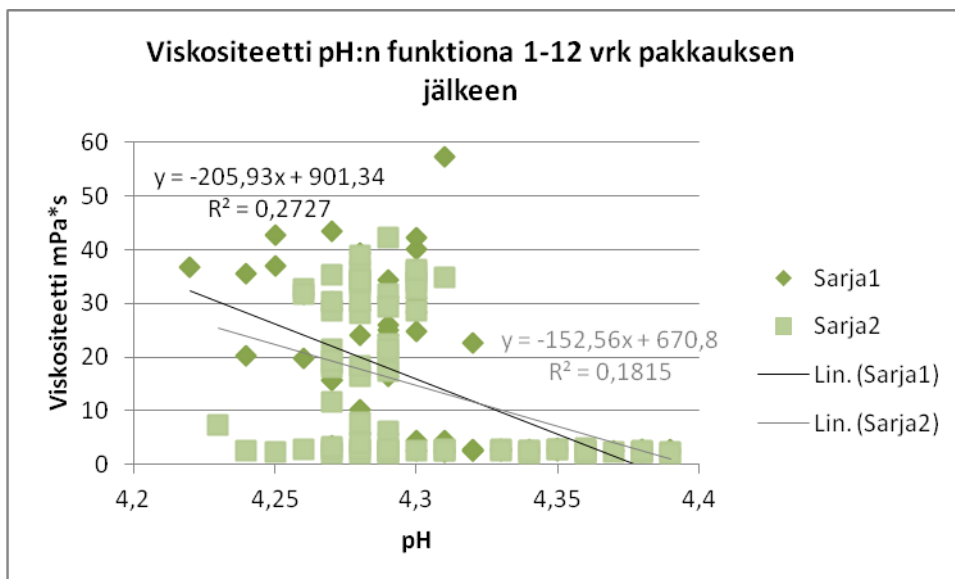


Sarjan 1 korrelaatiokerroin on -0,67 ja sarjan 1 kerroin on -0,55

Viskositeetin ja lämpötilan välillä ei ole selvää korrelaatiota. Ensimmäisten 10 tunnin aikana korrelaatio on korrelaatiokertoimen mukaan kohtalainen, mutta ei todellisuudessa. Lämpötila laski pakkauksen jälkeisestä noin 10 °C: sta näytekytymiön lämpötilaan ja samaan aikaan viskositeetti laski, ei lämpötilasta, vaan pumppauksien jälkeisestä stabiloitumisesta johtuen.



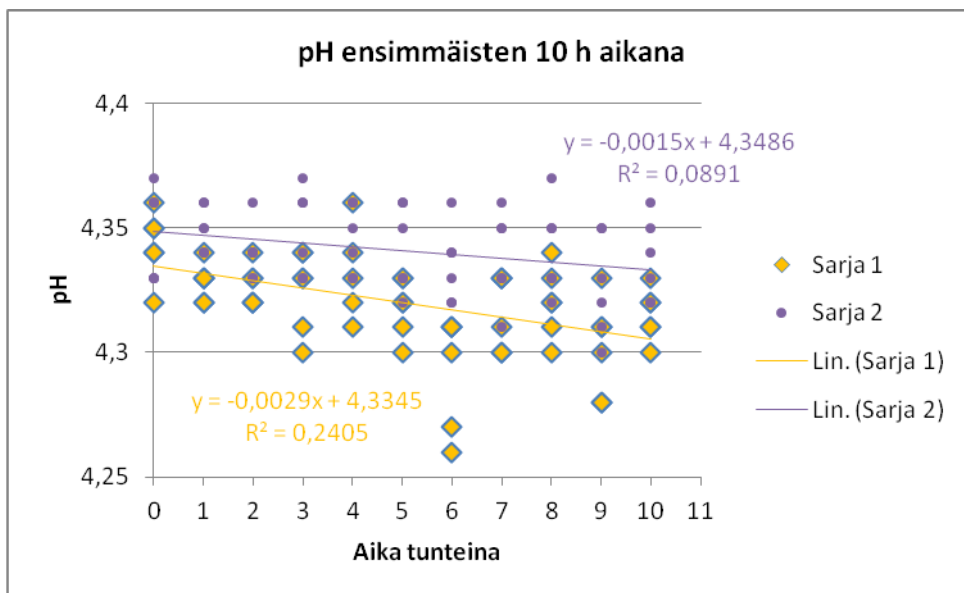
Sarjan 1 korrelaatiokerroin on -0,41 ja sarjan 2 kerroin on -0,32



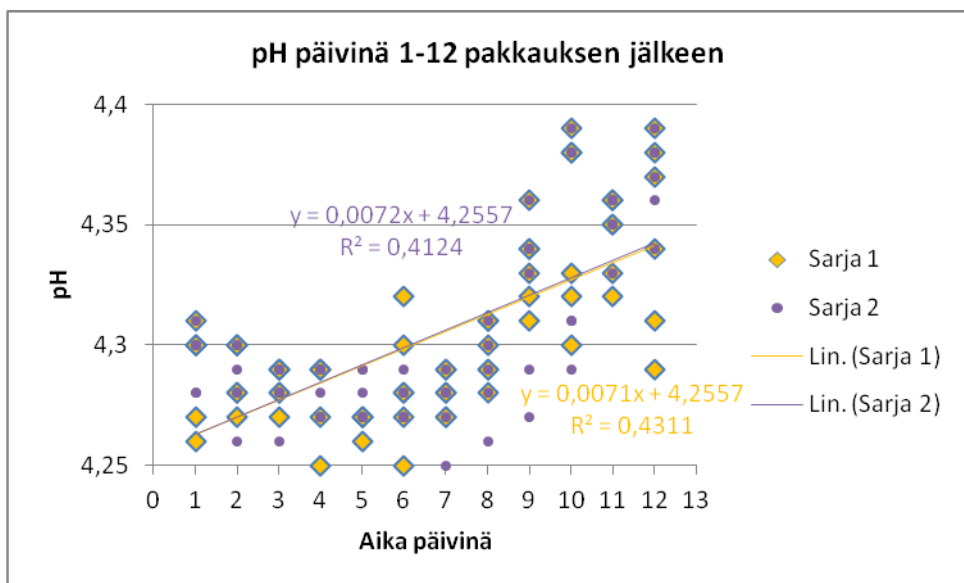
Sarjan 1 korrelaatiokerroin on -0,52 ja sarjan 2 kerroin -0,43

Viskositeetin ja pH:n välillä ei voi sanoa olevan korrelaatiota, koska korrelaatiokertoimet yllä olevissa kuvaajissa ovat -0,32- -0,52 ja muutokset pH:ssa ovat niin pieniä.

# KUVAAJIA PH:N JA LÄMPÖTILAN MITTAUKSISTA

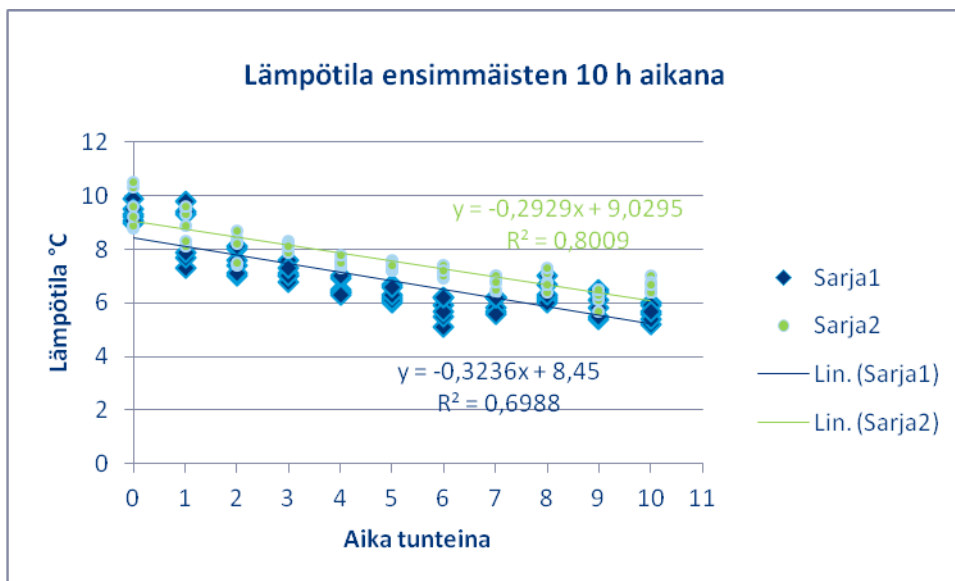


pH vaihtelee pakkauksen jälkeisten 10 tunnin aikana yllä olevan kuvaajan mukaan noin 4,26- 4,37 välillä. Vaihtelu on hyvin pientä, eikä tasaista laskua tai nousua voi havaita.

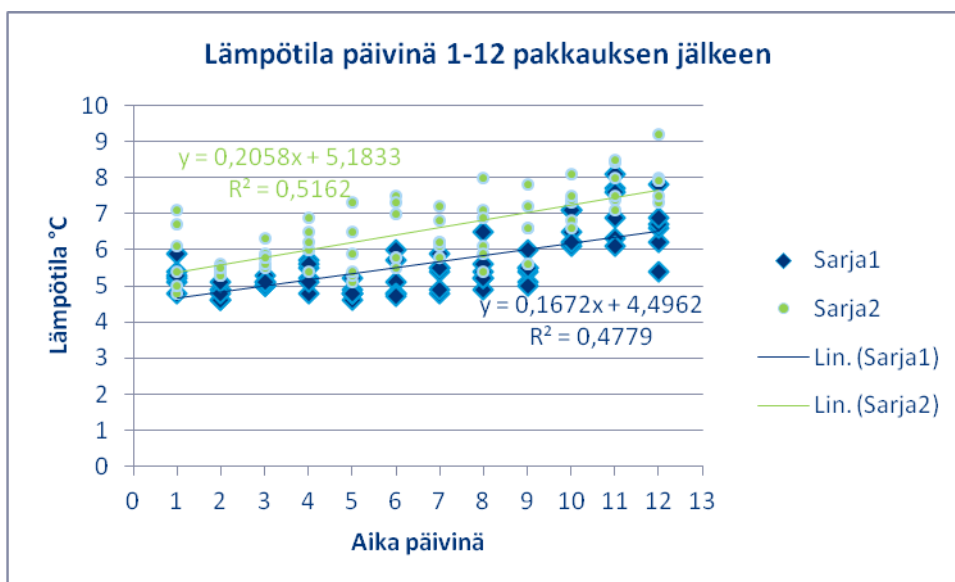


Pakkauksen jälkeisestä päivästä parasta ennen- päivään pH näyttää hieman nousevan yllä olevan kuvaajan mukaan, mutta muutokset pH:ssa ovat niin pieniä että havainotjoukossa ei ole tarpeeksi lineaarisuutta, eikä korrelaatiota ole.





Yllä oleva kuvaaja osoittaa että lämpötila laskee pakkauksen jälkeisinä tunteina odotetusti pakkauslämpötilasta varastointilämpötilaan.



Yllä olevan kuvaajan mukaan lämpötila näyttäisi nousevan pakkauksen jälkeisinä päivinä, mutta lämpötilan vaihtelua selittää se, että näytepurkit saatoivat joutua olemaan huoneenlämmössä ennen mittausta, koska mitattavia purkkeja oli kerrallaan paljon.